

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

EKONOMICKÁ FAKULTA

KATEDRA FINANCÍ

Stanovení míry rizika portfolia akcií s eliptickým rozdělením pravděpodobnosti

Risk Rate Determination of Stock Portfolio with an Elliptical Distribution

Student:	Bc. Kateřina Jahnová
Vedoucí diplomové práce:	prof. Dr. Ing. Zdeněk Zmeškal

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Ekonomická fakulta
Katedra financí

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kateřina Jahnová**
Studijní program: N6202 Hospodářská politika a správa
Studijní obor: 6202T010 Finance
Téma: Stanovení míry rizika portfolia akcií s eliptickým rozdělením
pravděpodobnosti
Risk Rate Determination of Stock Portfolio with an Elliptical
Distribution

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
 2. Charakteristika finančních trhů a investování na finančních trzích
 3. Popis stanovení míry rizika eliptických rozdělení
 4. Stanovení míry rizika portfolia akcií s eliptickým rozdělením pravděpodobnosti
 5. Závěr
- Seznam použité literatury
Seznam zkratk
Prohlášení o využití výsledků diplomové práce
Seznam příloh
Přílohy


Seznam doporučené odborné literatury:

ALEXANDER, Carol. *Market Risk Analysis: Value-at-Risk Models*. 4th ed. England: John Wiley & Sons, 2008. 449 s. ISBN 978-0-470-99788-8.
HOLTON, Glyn A. *Value-at-Risk: Theory and Practice*. 1st ed. New York: Academic Press, 2003. 405 s. ISBN 0-12-354010-0.
MUSÍLEK, Petr. *Finanční trhy a investiční bankovnictví*. 1. vyd. Praha: ETC Publishing, 1999. 582 s. ISBN 80-86006-78-6.

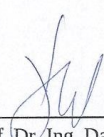
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Zdeněk Zmeškal**

Datum zadání: 21.11.2014
Datum odevzdání: 25.04.2015


Ing. Iveta Ratmanová, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Dr. Ing. Dana Dluhošová
děkanka fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou práci, včetně všech příloh, vypracovala samostatně.

V Ostravě 25. dubna 2015


.....
Bc. Kateřina Jahnová

Na tomto místě bych chtěla poděkovat prof. Dr. Ing. Zdeňku Zmeškalovi za velmi cenné rady, připomínky a náměty, které byly velkým přínosem při zpracování této diplomové práce.

OBSAH

1	Úvod.....	4
2	Charakteristika finančních trhů a investování na finančních trzích.....	5
2.1	Finanční trhy	5
2.2	Účastníci na finančních trzích.....	8
2.3	Typy investorů na finančních trzích	9
2.4	Investice na finančních trzích	10
2.5	Kritéria hodnocení investic	11
2.6	Rizika na finančních trzích	12
2.6.1	Druhy finančního rizika	13
2.7	Investiční strategie	14
2.8	New York Stock Exchange (NYSE).....	15
2.8.1	Nejpodstatnější události v historii NYSE	16
2.8.2	Členství a subjekty NYSE, vypořádání obchodů a regulace	18
2.8.3	Obchodování na NYSE.....	19
3	Popis stanovení míry rizika eliptických rozdělení	22
3.1	Rozdělení pravděpodobnosti.....	22
3.1.1	Normální rozdělení pravděpodobnosti.....	24
3.1.2	Studentovo rozdělení pravděpodobnosti.....	25
3.1.3	Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti	26
3.2	Testování rozdělení pravděpodobnosti	28
3.2.1	Test dobré shody	28
3.2.2	Histogram.....	29
3.2.3	Q-Q test.....	29
3.3	Stanovení rozptylu	30
3.3.1	Model EWMA – standardní a robustní verze	30
3.4	Value at Risk.....	32
3.4.1	Definice Value at Risk	32
3.4.2	Odvození Value at Risk	33
3.4.3	Metody výpočtu Value at Risk.....	36
4	Stanovení míry rizika portfolia akcií s eliptickým rozdělením pravděpodobnosti	40
4.1	Sestavení portfolia a zjištění vstupních dat.....	40
4.1.1	Výpočet výnosů	42
4.1.2	Test normality výnosů.....	42
4.2	Odhad volatility výnosů pomocí modelů EWMA	52
4.2.1	Výpočet volatility – Robust-EWMA	52
4.2.2	Výpočet volatility - Standard-EWMA	54
4.3	Výpočet Value at Risk pro stanovené portfolio	55
4.3.1	Value at Risk pro Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti	56
4.3.2	Value at Risk pro normální rozdělení pravděpodobnosti.....	59
4.3.3	Porovnání výsledků a shrnutí.....	62
5	Závěr	67
	Seznam použité literatury	69
	Seznam zkratk.....	71
	Prohlášení o využití výsledků diplomové práce	
	Seznam příloh	
	Přílohy	

1 Úvod

Mnoho odborníků vidělo příčinu tak obrovského selhání trhů po dopadu globální finanční krize v roce 2008 právě v metodách měření rizika. A to zejména v metodě Value at Risk, pomocí níž se vyčísľuje maximální možná ztráta za určitou dobu při stanovené hladině významnosti. Právě tento ukazatel „hodnoty v riziku“ je základem pro bankovní regulaci Basel II či regulaci v pojišťovnictví, jde tedy o ukazatel, který vyžaduje pozornost. Value at Risk se stalo velmi populární počátkem 90. let, neboť v jednom čísle zahrnuje celkové podstoupené riziko. V té době totiž banka J. P. Morgan představila tuto rizikovou míru pro měření tržního rizika světa v dokumentu zvaném RiskMetrics.

Cílem práce je ověření a stanovení míry rizika portfolia akcií s eliptickým rozdělením pravděpodobnosti, přičemž riziko tohoto portfolia je měřeno pomocí Value at Risk.

Práce je rozdělena do tří dílčích celků, mimo úvodu a závěru. První část práce je věnována finančním trhům a investování na finančních trzích, v této části je stručně popsán jeden z přístupů dělení finančních trhů. Dále je pozornost věnována účastníkům na těchto trzích, investorům a typům investic. Nejsou opomenuta ani kritéria, která slouží k hodnocení investic či využívané investiční strategie. V závěru této části je představena burza New York Stock Exchange.

V druhé části je v úvodu charakterizováno eliptické rozdělení pravděpodobnosti a popsány vybrané typy tohoto rozdělení pravděpodobnosti. Dále jsou nastíněny různé způsoby testování pravděpodobnostního rozdělení, jako je test dobré shody či Q-Q test. Je zde prezentována predikce rozptylu finančních aktiv a v neposlední řadě také postup stanovení Value at Risk.

Obsahem poslední části je pak praktická aplikace popsané metodiky na konkrétním příkladu zvoleného portfolia složeného z akcií obchodovaných na New York Stock Exchange. Je proveden odhad vhodného rozdělení pravděpodobnosti jednotlivých akcií a portfolia jako celku. Dále je ověřena a stanovena hodnota Value at Risk tohoto portfolia, a to použitím analytické metody Value at Risk pro normální a Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti. Součástí je také komentář výsledků velikosti Value at Risk a případné modifikace výpočtu.

2 Charakteristika finančních trhů a investování na finančních trzích

Následující kapitola je věnována finančním trhům. Ty budou nejprve charakterizovány, bude provedeno jejich dělení. Dále budou vymezeny typy investorů a investic na těchto trzích, přičemž v další části kapitoly budou definována i rizika spojená s finančními trhy. V závěru bude představena newyorská burza. Tato kapitola vychází převážně z publikací Musílek (1999), Jílek (2009), Veselá (2011), Blake (1995), Sharpe (1994) a Rejnuš (2010).

2.1 Finanční trhy

Rozvinutý finanční systém je složen z jednotlivých finančních trhů, nástrojů, účastníků, regulací a dohledu. Tržní ekonomika jako taková se skládá obecně z trhu výrobků a služeb, trhu práce, trhu půdy a v neposlední řadě trhu kapitálu – finančního trhu, přičemž tyto trhy se navzájem ovlivňují.

Na finančních trzích dochází k investování, přičemž finanční trh sám o sobě je systémem nástrojů a vztahů, na základě kterých je možné shromažďovat, rozmisťovat a přerozdělovat volné finanční prostředky, a to od těch, kteří těmito prostředky disponují, avšak je momentálně nepotřebují, k těm, kteří by tyto prostředky rádi využili a zhodnotili. Majitel volných finančních prostředků vystupuje jako *půjčovatel*, ten svěří své peníze *vypůjčovateli*, přičemž za toto poskytnutí prostředků dostane úrok. Vypůjčovatel pak peníze využije k realizaci svého investičního záměru, a je-li úspěšný, dosáhne zisku. Finanční trhy zajišťují také likviditu, což znamená, že dané subjekty mohou při nízkých nákladech měnit své portfolio před okamžikem splatnosti finančních instrumentů. Subjekty, které na těchto trzích vystupují, jsou domácnosti, podniky, banky a stát.

Finanční trhy lze vymezit také jako systém instrumentů a institucí, díky kterým je zajištěn pohyb peněz a kapitálu, a to ve všech formách, mezi ekonomickými subjekty. Finanční instrument je pak nástrojem, na základě kterého dochází k přenosu finančních prostředků, ale také rizika mezi jednotlivými subjekty, a proto finanční trhy pak představují místo, kde dochází k převodu finančních prostředků, ale zároveň také k převodu rizika.

Hlavním úkolem finančních trhů je efektivní přesun volných finančních prostředků, jak uvádí Musílek (1999), lze sledovat dva druhy efektivnosti, a to:

- *alokační efektivnost* – finanční prostředky jsou umístěny do investic, které přinesou nejvyšší výnos,
- *operační efektivnost* – k přesunu finančních prostředků dochází s minimálními transakčními náklady.

Veselá (2011) pak uvádí třetí formu efektivnosti finančních trhů, a to *informační efektivnost* – ta nastává, je-li reakce kurzů okamžitá na novou neočekávanou informaci.

Finanční trhy lze dělit z různých hledisek, ať už z věcného hlediska, hlediska účastníků finančního trhu či z hlediska nástrojů, se kterými je na těchto trzích obchodováno.

Dle věcného hlediska lze finanční trhy dělit na:

- peněžní,
- kapitálový,
- devízový
- a trh reálných aktiv.

Pro **peněžní trh** je charakteristické, že je na něm obchodováno s krátkodobými nástroji, tedy s nástroji se splatností do jednoho roku. Tyto instrumenty jsou charakteristické nízkým výnosem, ale také nízkým rizikem, avšak vysokou likviditou. Nejčastěji je zde obchodováno s pokladničními poukázkami, komerčními papíry či směnkami a depozitními certifikáty. Subjekty, vystupující na tomto trhu mohou být například centrální banka, komerční banka, obchodníci s cennými papíry či podniky a fondy. Tento typ trhu bývá označován jako velkoobchodní trh.

Na **kapitálovém trhu** jsou prováděny obchody s nástroji, jež mají splatnost nad jeden rok, eventuálně dobu splatnosti stanovenou nemají vůbec. Obchoduje se zde například s akciemi, státními dluhopisy, podílovými listy, hypotečními zástavními listy, dluhopisy bank či firem, s investičními certifikáty či finančními deriváty. Tyto instrumenty jsou spojovány s vyšším výnosem, ale také s vyšším rizikem a nízkou likviditou. Opětovně, subjekty tohoto trhu jsou banky, pojišťovny, fondy, podniky, obchodníci s cennými papíry či stát a podobně. Kapitálové trhy jsou navíc děleny na primární a sekundární. Na *primárním trhu* se uskutečňují

emisní obchody – dochází k nové emisi cenných papírů, které se poprvé dostávají na trh. Emitent získává finanční prostředky na financování své činnosti, tuto emisi může zajistit sám (vlastní emise) nebo prostřednictvím obchodníka s cennými papíry (emise cizí). Je zde nabízeno něco zcela poprvé, kupec tohoto emitovaného cenného papíru bývá označován jako prvonabyvatel. Na *sekundárním trhu* se pak obchoduje s již emitovanými (vydanými) cennými papíry a mizí vazba investora na dlužníka, neboť peněžní prostředky jsou přesouvány jen mezi investory. Sekundární trh je možné dále členit, a to na organizovaný (burzovní a mimoburzovní) a neorganizovaný trh.

S likvidními pohledávkami v cizí měně se obchoduje na *devízovém trhu*, přičemž tyto pohledávky mají různou dobu splatnosti. Devízový trh se vyznačuje vysokou likviditou, konkurencí a efektivností.

Místo, kde se obchoduje s instrumenty, které jsou spojeny s určitým předmětem, nejčastěji komoditou, se nazývá *trh s reálnými aktivy*. Nejčastěji se zde obchoduje se zlatem, stříbrem, platinou, avšak nemovitosti či umělecké sbírky nejsou výjimkou. Význam tohoto trhu však nebývá až tak veliký, spíše je trh samotný využíván k diverzifikaci rizika.

Z hlediska nástrojů je možné finanční trhy rozdělit na:

- *trhy cenných papírů* – tedy trhy s akciemi, dluhopisy, pokladničními poukázkami, apod.,
- *devízové trhy* a
- *úvěrové trhy* – trhy s úvěry a půjčkami.

Co se týče hlediska účastníků finančních trhů, lze trhy rozčlenit na:

- *burzovní trhy*, na kterých dochází k obchodům, které jsou organizovány burzou, a jedná se o obchody s nejbonitnějšími cennými papíry;
- *mimoburzovní trhy*, přičemž obchody na těchto trzích jsou organizovány jinak než burzou, navíc instrumenty nemusí splňovat burzovní předpisy a pravidla, neboť si organizátor stanovuje pravidla sám;
- *bankovní trhy*, kdy obchody na těchto trzích jsou uskutečňovány pouze mezi bankami;
- *mezipodnikové trhy*, na kterých vystupují jiné ekonomické subjekty než banky.

Finanční trhy lze také dělit dle teritoriálního hlediska, jak uvádí Musílek (1999), a to na:

- *národní trhy*, kde jsou obchodovány instrumenty domácích emitentů, a to podle pravidel a podmínek místního trhu;
- *zahraniční trhy*, na kterých jsou umístěny finanční instrumenty zahraničními emitenty, přičemž dané instrumenty jsou denominovány v měně země, ve které jsou obchodovány a obchody probíhají dle pravidel a podmínek místního trhu;
- *eurotrhy*, na kterých jsou obchodovány eurofinanční instrumenty, které jsou emitovány a obchodovány v jiné měně než má země, ve které jsou předmětem obchodů (například akcie ČEZu obchodované na burze v New Yorku denominované v librách).

2.2 Účastníci na finančních trzích

V každém finančním systému vystupují tři hlavní účastníci, a to *deficitní jednotky*, *přebytkové jednotky* (o kterých již padla zmínka dříve) a *finanční zprostředkovatelé*.

Přebytkovými jednotkami jsou tedy subjekty, které mají přebytek volných finančních prostředků (úspory), přičemž jsou ochotny tyto volné zdroje zapůjčit jinému subjektu, investovat. Těmito investory mohou být domácnosti, firmy, banky, obchodníci s cennými papíry, fondy, stát, pojišťovny, apod.

Subjekty s momentálním nedostatkem volných finančních prostředků pro financování svých aktivit jsou **deficitní jednotky**. Tím, že vstoupí na trh, se snaží finanční prostředky získat. Deficitní jednotkou mohou být emitenti, kteří využijí emisi určitého druhu cenných papírů, mohou mít podobu bank, firem, státu, eventuálně i územně samosprávních celků. Dalším typem deficitní jednotky pak mohou být dlužníci, kteří nedostatek finančních prostředků řeší čerpáním úvěru.

Úkolem **finančních zprostředkovatelů** je zabezpečit spárování investorů a dlužníků, pochopitelně s určitými transakčními a informačními náklady, avšak výsledně za výhodnějších podmínek, než jaké by byly schopny tyto jednotky vytvořit samy. Transakčními náklady bývají různé zprostředkovatelské poplatky, emisní náklady, poplatky za první služby, administrativní náklady a podobně.

Zapojením finančních zprostředkovatelů do tohoto řetězce by mělo dojít ke snížení rizik, která by hrozila, probíhala-li by alokace finančních zdrojů jen mezi přebytkovými a deficitními jednotkami. Finanční zprostředkovatelé tedy usnadňují zapůjčování a vypůjčování peněžních prostředků, tím pádem i snižují náklady a rizika. Je možné rozlišit finanční zprostředkovatele na bankovní zprostředkovatele a nebankovní zprostředkovatele, kdy:

- *bankovními zprostředkovateli* jsou instituce, které provádějí svou činnost na základě bankovní licence, jako jsou banky a finanční a úvěrové ústavy. Tyto instituce přijímají peněžní prostředky od přebytkových jednotek za určitý úrok a dále je půjčují za daný poplatek deficitním jednotkám;
- *nebankovními zprostředkovateli* jsou pak instituce bez bankovní licence, jako jsou pojišťovny, obchodníci s cennými papíry, investiční fondy a další.

2.3 Typy investorů na finančních trzích

Obecně se každý člověk snaží maximalizovat očekávaný blahobyt. Jestliže nespotřebuje veškeré své aktuální příjmy ihned, hledá možnost jak dočasně uložit své volné finanční prostředky pro případ výdajů v budoucnu – to může znamenat právě nákup vybraných finančních aktiv. Pak je možné hovořit o investování. Často se rozlišuje mezi úsporami a investováním. Úspory představují odloženou spotřebu, „opravdovým“ investováním je pak chápáno zvýšení domácího produktu v budoucnu, jak uvádí Sharpe (1994).

Cílem investora je tedy umístit své prostředky do daných aktiv takovým způsobem, aby očekávaný užitek z drženého portfolia byl co možná nejvyšší. Avšak je nutné vzít v potaz také jistou averzi k riziku, kterou investor má, požadavek likvidity a podobně. Pravděpodobně se bude i tento investor snažit sladit splatnost svého portfolia s plánovanou spotřebou, v takovém případě bude mít podle všeho portfolio krátkou dobu splatnosti a požadavek na likviditu bude vysoký. Jednotlivé investory pak je možné od sebe odlišit postojem k penězům či skladbou portfolia. Někteří lidé se riskovat bojí, jiné naopak velké výkyvy nechávají chladnými. Obecně se předpokládá, že všichni investoři mají určitý odpor k riziku, avšak každý z nich tento odpor pociťuje v jiné míře.

Investory lze rozdělit do tří skupin podle toho, jak riziko vnímají:

- *investor s averzí k riziku* jedná tak, aby nepřišel o své peníze, riziko se snaží diverzifikovat. Tento investor vyhledává co nejvíce konzervativní finanční produkty a málo rizikové investiční instrumenty, pod těmito pojmy je možné si představit například spořicí účty, termínované vklady, pokladniční poukázky či státní dluhopisy a podobně;
- *investor s neutrálním vztahem k riziku*, jež se snaží své prostředky zhodnotit alespoň o výši inflace, proto takovýto investor nejčastěji investuje do otevřených podílových fondů, podnikových dluhopisů a podílových listů, avšak také do akcií. Tento investor se nezajímá o to, zda jde o hazard či nikoliv, riziko je pro něj nedůležité;
- *investor vyhledávající riziko* se nebojí investovat i větší částky do rizikovějších investic, snaží se jednak překonat inflaci a ještě k tomu dostatečně vydělat, přičemž investuje nejčastěji do rizikových akcií a derivátů. Podstupuje ochotně i vyšší riziko, neboť očekávaný výsledek mu za to stojí. Avšak takovýto investor sice může dosáhnout obrovského zisku, ale také obrovské ztráty.

Reálně však nelze jednoznačně investory zařadit do dané skupiny investorů, neboť v reálném světě záleží na tom, jaké investiční příležitosti se investorům naskytnou.

2.4 Investice na finančních trzích

Jak již bylo zmíněno, je nutné rozlišovat mezi úsporami a investicí. Investice je ta část příjmů, která je vložena do určitého typu kapitálu, jež má v budoucnu přinášet užitek, přičemž investice lze rozdělit na finanční a reálné. V závislosti na rozvinutosti dané ekonomiky se různí podíl reálných investic na celkových investicích – čím je ekonomika rozvinutější, tím je tento podíl menší.

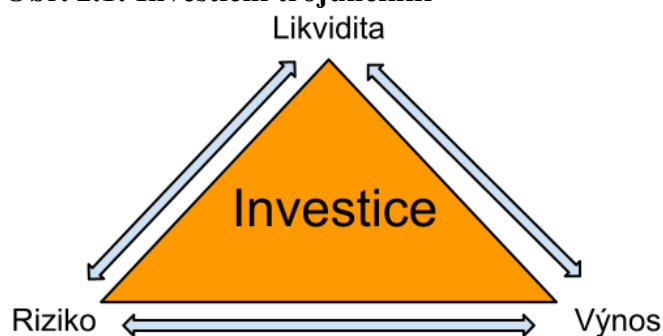
Finanční investice nejsou vázány na žádný konkrétní hmotný předmět na rozdíl od investic reálných. Mezi finanční investice lze zařadit akcie a dluhopisy, podílové listy, peněžní vklady, deriváty cenných papírů či například finanční spoluúčast na podnikání jiných subjektů. Konkrétní cenné papíry se různí rizikovostí, výnosností či obchodovatelností a převoditelností.

Jako **reálné investice** jsou chápány investice do hmotného i nehmotného majetku. Příkladem reálných investic mohou být drahé kovy, budovy, pozemky, stavby, umělecká díla či software, patenty, know-how a licence.

2.5 Kritéria hodnocení investic

Při rozhodování o tom, kam investor vloží své finanční prostředky, aby je zhodnotil, vstupuje do hry mnoho faktorů, které toto rozhodnutí ve výsledku ovlivní. Nejvýznamnější jsou výnos, likvidita a riziko. V souvislosti s těmito třemi faktory se hovoří o investičním trojúhelníku, kdy je mezi těmito kritérii inverzní vztah. Nelze tedy zlepšit hodnotu jednoho ukazatele, aniž by se zhoršila hodnota druhého. Tento vztah zobrazuje následující obrázek 2.1 Investiční trojúhelník.

Obr. 2.1: Investiční trojúhelník



Zdroj: <http://ntx.cz/id-68-magicky-trojuhelnik-investovani>

Racionálně uvažující investor se snaží dosáhnout co možná nejvyššího výnosu při co nejnižším riziku a co nejvyšší likviditě z dané investice. V praxi však nelze maximalizovat všechna tato kritéria, proto musí volit – maximalizuje-li jedno kritérium, obětuje maximalizaci těch zbývajících. Má-li investor zájem na vysokém výnosu, nemůže požadovat nízké riziko. Vysoká výnosnost je totiž spojena s vysokým rizikem. Preferuje-li investor likviditu, výnos bude nízký taktéž. Podstatnou roli hraje také čas, tedy investiční horizont, přičemž čím je investice rizikovější, tím bývá investiční horizont delší.

Likvidita představuje schopnost daného instrumentu přeměnit se na finanční prostředky s minimálními náklady, a to jak finančními, tak časovými, jak uvádí Musílek (1999). Stupeň likvidity se různí v závislosti na daném investičním instrumentu a na trhu. Vysoce likvidní bývají devízové trhy, trhy vládních dluhopisů či trhy nejvíce obchodovaných akcií v USA

či Velké Británii. Málo likvidní trhy jsou trhy právě vznikající (je možné sem zařadit i český trh). Likvidnější bývají klasické kmenové akcie na doručitele s nižší nominální hodnotou. Typický investor pak upřednostňuje takové instrumenty, jež mají co nejvyšší likviditu.

Výnos investice představuje motiv pro investování jako takový – je odměnou za realizaci investičního procesu. Výnosnost investice lze charakterizovat jako rozdíl mezi výnosem, který investice přinese a náklady vynaloženými na investici – investovanými prostředky. V řadě situací však výnos není zaručen, investoři se rozhodují na základě očekávaných výnosů, jež nemusí být vůbec realizovány, eventuálně se mohou velmi rychle měnit, a to podle toho, jaká je situace na trhu, investor by proto situaci na trhu měl sledovat.

Riziko je chápáno jako nebezpečí, že investor očekávaného výnosu investice nedosáhne, jde o odchylku od skutečnosti, je to možnost, že skutečné výnosy budou odlišné od výnosů očekávaných. Výnosnost a riziko jsou těsně provázány. Platí, že čím vyšší je riziko, tím vyšší lze očekávat i výnosnost dané investice a naopak. V zásadě je výnosová míra investičních instrumentů ovlivňována dvěma základními typy rizik, a to jedinečným rizikem (mající charakter specifických jevů pro jednotlivé podniky), které lze efektivně diverzifikovat a systematickým rizikem (vyplývající z celkového vývoje ekonomiky), jež diverzifikovat nelze. Jak uvádí Musílek (1999), riziko investice je funkcí více faktorů, přičemž finanční riziko se řadí do skupiny podnikatelských rizik. V zásadě lze riziko členit podle různých hledisek do velkého množství skupin a podskupin. Základní členění může být na riziko tržní, kreditní, úrokové, apod. Všechna tato rizika mají vliv na investování, neboť v podstatě pro každé aktivum v portfoliu existuje nějaké riziko. Jedním z nejdůležitějších kroků při stanovení rizika je jeho identifikace. Metod, které usilují mezi jinými právě o tento cíl, je nepřehledné množství.

2.6 Rizika na finančních trzích

Finanční riziko je řazeno do skupiny podnikatelských rizik. Nejčastěji je možné jej rozdělit na riziko tržní, kreditní (úvěrové), operační či riziko likvidity. V podstatě pro každé aktivum v portfoliu lze hovořit o riziku s ním spojeným a cílem je vždy rizikový faktor identifikovat. Je třeba ale poznamenat, že existuje i celá řada externích faktorů, které jsou v podstatě neovlivnitelné, jako jsou události typu změny ekonomických podmínek, přerušení dodávky energií či terorismus.

Finanční riziko portfolia lze vyjádřit funkcí:

$$\Delta V = f(\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3, \dots, \Delta F_n, t) + \varepsilon, \quad (2.1)$$

kde V je hodnota portfolia, $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ jsou rizikové faktory, t představuje čas a ε náhodnou složku.

Čím větší riziko investor podstupuje, tím větší žádá výnosnost. Každá cena aktiva se tedy skládá v první části z tzv. bezrizikové výnosnosti, ta v podstatě představuje výnosnost investice, která pro investora nese žádné (eventuálně téměř žádné) riziko a jejíž výnos lze předem odhadnout s určitou mírou jistoty. Druhá část ceny aktiva je pak riziková přírážka. Ta právě v sobě zahrnuje různé druhy rizik, která jsou spojena s investováním peněžních prostředků.

Cílem řízení rizika je zamezit působení existujících i potenciálních budoucích faktorů. Snahou je navrhnout řešení, které má pomoci snížit nežádoucí účinek externích vlivů a umožnit využití vlivů pozitivních. Toho lze dosáhnout za pomoci vhodných metodik a nástrojů pro měření rizika.

2.6.1 Druhy finančního rizika

Jak již bylo řečeno, nejčastěji je riziko děleno na tržní, kreditní neboli úvěrové, operační a riziko likvidity. Je možné popsat mnoho faktorů, mnoho dílčích rizik, vyjmenována a popsána jsou pouze ta nejdůležitější, se kterými se setká v podstatě každý investor. Mimo externí faktory, které ovlivnit nelze (přerušení dodávek energií, změna ekonomických podmínek na trhu), existuje mnoho dalších rizik, která ovlivnit lze a je možné je i snížit či částečně odstranit.

Tržní riziko je rizikem snížení zisku či ztráty způsobené změnou tržních cen, bude-li se tržní prostředí vyvíjet nepříznivě. Výše tohoto rizika závisí na struktuře bilance, konkrétně na citlivosti jednotlivých položek aktiv a pasiv na změnu tržních cen. Pod tržní riziko spadá řada skupin, mezi ty nejznámější patří úrokové riziko, které značí riziko ztráty ze změn hodnoty aktiv citlivých na úrokové sazby, akciové riziko, jež odráží reakci portfolia na změnu

ceny akcií, komoditní riziko, které je reakcí na změnu cen nástrojů citlivých na ceny komodit či měnové riziko, jehož podkladem jsou měnové kurzy.

Kreditní neboli **úvěrové riziko** představuje riziko ztráty, jež je způsobena, dojde-li k selhání dlužníka, který nedostojí svým závazkům. Toto riziko se řadí mezi základní finanční rizika, typickým příkladem pak bývá nesplacení úvěru klientem nebo neuhrazení faktury odběratelem. Nejjednodušším způsobem, jak snížit toto riziko, je obchodovat s důvěryhodnými partnery či využívat organizovaných trhů nebo používat rámcové dohody, které by obsahovaly doložky o nettingu. Důležitý je také rating, jenž hodnotí spolehlivost dlužníka. Pro eliminaci rizika lze využívat hodnocení světových ratingových agentur (např. Standard & Poor's, Moody's, Fitch). Banky míru rizika určují stanovením bonity potenciálního dlužníka. Konkrétními příklady kreditního rizika jsou přímé úvěrové riziko, vypořádací riziko nebo riziko úvěrové angažovanosti.

Možnost vzniku ztráty, jsou-li nedostatečné či selhávají-li vnitřní procesy, osoby, systémy, nebo důsledek extrémních událostí pak představuje **operační riziko**. Toto riziko zahrnuje například i přírodní katastrofy, podvodné operace, jako je praní a padělání peněz, dále neautorizované obchodování či riziko ztráty dobrého jména, je zde zahrnuto i riziko právní. Jinými slovy, operační riziko je rizikem vzniku provozních nedostatků a chyb.

Posledním jmenovaným rizikem je **likvidní riziko**. Likviditou je chápána schopnost firmy dostát svým splatným závazkům v každém okamžiku, přičemž základním cílem řízení tohoto rizika je zabezpečení přístupu k hotovosti, a to za cenu akceptovatelnou bez ohledu na vnější podmínky. Příklady likvidního rizika jsou riziko financování, jež odráží momentální platební neschopnost investora a riziko tržní likvidity. Podkladem rizika tržní likvidity je malá likvidita trhu s finančními nástroji bránící rychlé likvidaci peněz, čímž dochází k omezení přístupu k peněžním prostředkům.

2.7 Investiční strategie

Pro investování je investiční strategie velmi důležitá, neboť investor si musí v úvodu uvědomit, kam a jak chce své prostředky umístit. Strategii ovlivňuje čas, po který bude investice probíhat, výnos, který investor požaduje, a samozřejmě investorův vztah k riziku.

Strategií jsou tedy metody, procesy a pravidla společně se vzorci chování, která investor používá k výběru investičních nástrojů.

Je možné rozlišit několik druhů investičních strategií, převážně v závislosti na vztahu investora k riziku a požadovaném výnosu z investice, a to na:

- *agresivní strategii*, jež upřednostňují investoři, kteří jsou ochotni podstoupit vysoké riziko, odměnou je jim nadprůměrný výnos. Pro agresivní strategii je charakteristický delší časový horizont, přičemž portfolio agresivního investora představují ve značné míře akciové fondy;
- *dynamickou strategii* využívá investor, který má zájem na nadprůměrných výnosech, avšak takovýto investor bere v úvahu i propad kapitálových trhů. Jeho portfolio nejčastěji tvoří akciové fondy, ale také smíšené fondy a fondy fondů;
- *vyvážená strategie* je vhodná pro investora, který si je vědom, že celková hodnota investice může klesat, avšak ví také to, že může dosahovat vysokých výnosů a snaží se orientovat na přiměřené riziko. Portfolio tohoto investora pak je tvořeno převážně fondy fondů a smíšenými konzervativními fondy;
- *ochranná strategie* je upřednostňována opatrnými investory, ti se prostřednictvím této strategie snaží ochránit majetek před inflací, požadovaný výnos je tedy na stejné úrovni jako inflace. Takovéto portfolio je tvořeno fondy peněžního trhu či dluhopisy;
- *konzervativní strategii* využívá investor, který má zájem na konstantním a plynulém výnosu, je si tedy vědom minimálního zhodnocení investice (nejčastěji těsně nad úrovní inflace). Strategie je využívána na krátký časový horizont a portfolio bývá tvořeno převážně dluhopisy.

2.8 New York Stock Exchange (NYSE)

New York Stock Exchange, dále jen NYSE, je největším burzovním trhem na světě. Americké společnosti, které jsou kótovány na NYSE Group, prezentují kolem 80 % celkové tržní kapitalizace veřejně obchodovaných společností v USA. Celkem je na této burze kótováno téměř dva a půl tisíce společností (2 466 k prosinci 2014), z toho téměř dva tisíce jsou společnosti americké, zbytek připadá na společnosti zahraniční. V prosinci roku 2014

činil objem obchodů uskutečněných na NYSE 1 536 mld. \$, přičemž počet uskutečněných obchodů dosáhl čísla 227 980 400. Tato čísla charakterizují burzu a její velikost. Hlavními indexy na této burze jsou Standard & Poor's 500, NYSE Composite, NYSE U.S. 100 Index a Dow Jones Industrial Average.

2.8.1 Nejpodstatnější události v historii NYSE

Pro vznik této burzy byl nejdůležitější událostí podpis tzv. Buttonwoodovské smlouvy v roce 1792, která byla výsledkem snahy investorů, emitentů a vlády založit oficiální trh, kde by se obchodovalo s cennými papíry na základě přesně vymezených pravidel. Z počátku bylo na NYSE obchodováno jen s pěti tituly. Roku 1817 si newyorští brokeři pronajali budovu na Wall Street a vytvořili organizaci nesoucí název The New York Stock & Exchange bord a přijali společná pravidla pro obchodování. Obchodovalo se způsobem „call market“, což je určitá forma metody „veřejného křiku“. Roku 1830 byly na NYSE kótovány první akcie železniční společnosti, a ty společně s dalšími akciemi tohoto odvětví dominovaly obchodování na NYSE celé 19. století. Od roku 1853 NYSE začala vyžadovat po emitentech poskytování informací o jejich finanční situaci a zavedla požadavky pro kotaci cenných papírů. V souvislosti s občanskou válkou bylo obchodování na NYSE přerušeno, v roce 1863 burza mění název na The New York Stock Exchange (NYSE). Od roku 1867 je na burze pravidelně vydáván burzovní lístek a v roce 1871 ve snaze zvýšit likviditu burza zavádí kontinuální systém obchodování, který je prováděn prostřednictvím specialistů.

Roku 1914 je NYSE uzavřena v souvislosti s vypuknutím první světové války, a to na nejdelší dobu v historii, v roce 1918 NYSE předstihla Londýn a stává se největší světovou burzou. Roku 1923 na NYSE odstartoval býčí trh, který trval dalších šest let, vrcholu index DJIA dosáhl 3. září 1929, avšak v závěru října téhož roku přichází prudký pokles a 29. října 1929 akciový trh kolabuje. V roce 1954 byl poprvé překonán vrchol ze září 1929, a mezi lety 1956 a 1959 NYSE postupně zavádí opatření, která měla bránit zneužívání inside informací, převážně podnikovými insidery. V roce 1966 NYSE začíná kalkulovat a zveřejňovat index složený ze všech kótovaných akcií, který byl později nazýván NYSE Composite Index. V roce 1979 NYSE vytváří The New York Futures Exchange (NYFE) pro obchodování s finančními deriváty a zároveň zahajuje modernizaci svého parketu. V roce 1984 je proto zaveden elektronický order-routing systém Super Dot,

ten spojoval na jednotlivých obchodních místech parketu členy burzy se specialisty, přičemž systém nedodával jen příkazy do obchodního místa, ale zároveň posílal informace o uzavření obchodů zpět ke členům burzy.

V pondělí 19. října 1987 došlo na NYSE k nejhlubšímu jednodennímu propadu burzy v historii, v reakci na tento krach Komise pro cenné papíry (SEC) v roce 1988 zavedla na NYSE celou řadu opatření, mezi nimi např. povinné přerušování obchodů, dojde-li k extrémnímu pohybu cen, a zároveň prosadila koordinaci transakcí mezi NYSE a Chicago Mercantile Exchange (CME) v Chicagu. Objem obchodů se stále zvyšoval, v roce 1992 denní objemy obchodů s akciami poprvé přesáhly 200 milionů kusů, v roce 1993 proto NYSE zahájila přestavbu parketu burzy: počítačové sítě, hardwaru a softwaru. Cílem bylo zvýšit kapacitu parketu tak, aby mohla být denně uzavírána více než miliarda obchodů.

V roce 1993 byla na NYSE kótována první německá akcie společnosti Daimler-Benz. O tři roky později zde byla kótována první ruská akcie společnosti VimpelCom. Celkem bylo v roce 1996 na NYSE kótováno 290 zahraničních společností.

V roce 1997 byl na NYSE spuštěn Wireless data System, ten umožnil brokerům přijímat a realizovat příkazy a mít přístup k tržním informacím z jakéhokoliv místa parketu. 27. října 1997 byla poprvé v praxi na NYSE využita pravidla pro přerušování obchodování v reakci na prudký pokles kurzů, přesto index DJIA stačil poklesnout o 554 bodů. Další den poprvé v historii dosáhly objemy uzavřených obchodů jedné miliardy. V roce 1998 pak na NYSE byla zavedena nová pravidla pro přerušování obchodování, a to pokud index DJIA poklesne o 10, 20, a 30 %. Poprvé ve své historii dosáhl index DJIA hranice 10 000 bodů 19. března 1999. V roce 2004 pak NYSE rozšiřuje systém Direct+ ve snaze zvýšit úroveň čistého elektronického obchodování. Dochází k eliminaci limitů na velikost, typ a čas příkazů, které mohou být prostřednictvím tohoto systému vyřízeny, systém nabízí nepřetržité anonymní a automatické vyřízení příkazů investorů v souladu s jejich přáním a garantuje nejlepší zobrazenou cenu na NYSE. V dalších letech je více než 10 % celkového objemu obchodů na NYSE vyřizováno automaticky v NYSE Direct+ systému.

K 30. prosinci 2005 byl oficiálně v souvislosti s přeměnou NYSE na veřejně obchodovatelnou společnost ukončen tzv. prodej „křesel“ a nahrazen prodejem roční licence pro obchodování. Akcie NYSE začaly být veřejně obchodovány 8. března 2005.

V dubnu 2005 podepsaly NYSE a Archipelago (ArchaEx) dohodu o fúzi, která byla uskutečněna. Sloučením vznikla ziskově orientovaná společnost NYSE Group. Jako důsledek fúze NYSE Group, Inc. a Euronext N vznikla v roce 2007 společnost NYSE Euronext. Tuto fúzi mezi největší burzou světa a významnou evropskou burzovní aliancí lze chápat jako zásadní milník v procesu formování globálního finančního trhu. V říjnu 2008 pak NYSE Euronext Group skoupila třetí největší americkou burzu American Stock Exchange (AMEX), která se specializovala na obchodování s ETFs a akciemi malých firem

2.8.2 Členství a subjekty NYSE, vypořádání obchodů a regulace

NYSE je založena na členském principu, avšak jde o osobní typ členství (člen má podobu fyzické osoby nebo členské organizace, která je zastoupena na burze fyzickou osobou). Do roku 2006 si členové pronajímali či vlastnili „křesla“ (pojem „křeslo“ pro vlastníky představovalo členství na burze), od tohoto roku nahradila křesla roční licence pro obchodování. Rekordní cena křesla přesáhla 4 miliony dolarů v roce 2005. Cena roční licence již není dána pohybem nabídky a poptávky, ale je pevně stanovena.

Obchodování se mohou zúčastnit pouze členové burzy. Uchazeči o členství na NYSE musí splňovat přísné profesionální, finanční a personální standardy, ale také etické podmínky. Žadatelé o členství se musí podrobit jednak prověření ze strany regulatorních orgánů a NYSE Membership Department, ale také například lékařskému vyšetření, které potvrdí dobrý zdravotní stav či snímání otisků prstů organizací FBI. Na burzovních parketech NYSE působí několik subjektů. *Brokeři na parketu* jednají jako agenti, vyřizují příkazy k nákupu a prodeji akcií zpravidla na účet klienta. Na NYSE operují dva druhy brokerů, a to domácí (zaměstnanci velkých „investičních domů“ nebo „bankovních domů“) a nezávislí brokeři (ti zaměstnanci nejsou a poskytují služby domácím brokerům). *Specialisté* vystupují současně v roli brokera i dealera, pro cenný papír, který je jim svěřen řídí aukční proces, vykonávají příkazy pro brokery na parketu, slouží jako katalyzátor (zabezpečují kontakt mezi brokery, kteří nakupují a prodávají), obstarávají kapitál a stabilizují ceny.

Na zúčtování a vypořádání uzavřených transakcí na NYSE se podílí Depository Trust & Clearing Corporation (DTCC) a National Securities Clearing Corporation (NSCC). Zúčtování a vypořádání obchodů probíhá průběžným způsobem, nejčastěji s periodou T+3. NYSE má právní formu akciové společnosti s organizační strukturou anglosaského typu.

NYSE tak má nejlepší předpoklady pro pružné fungování. Regulace v odvětví cenných papírů je v USA prováděna na čtyřech úrovních, nejvyšší je Kongres, ten schvaluje legislativu, jmenuje a odvolává členy Komise pro cenné papíry (SEC), ta provádí regulaci na další, nižší úrovni. Na třetím stupni regulaci provádí samoregulující instituce, kam je řazena i NYSE, jejíž činnost se soustřeďuje v této oblasti na dodržování legislativy a burzovních pravidel. Na nejnižší úrovni regulace pak působí samotné investiční firmy.

2.8.3 Obchodování na NYSE

Newyorská burza nabízí investorům širokou paletu investičních nástrojů, které mohou investoři využít pro získání a navýšení kapitálu. Na burze je umožněno investovat do klasických instrumentů, jako jsou kmenové a prioritní akcie a dluhopisy, ale i do strukturovaných produktů, amerických depozitních stvrzenek, instrumentů emitovaných uzavřenými fondy, či do ETFs - burzovně obchodovaných fondů. Na NYSE je v současné době obchodováno více než 3000 akcií. Protože je newyorská burza prestižním burzovním trhem, jsou zde kótovány akcie největších a nejbonitnějších amerických společností. Kromě domácích akcií jsou však na NYSE obchodovány akcie významných zahraničních společností, a to akcie kmenové i prioritní. NYSE také organizuje největší centralizovaný dluhopisový trh v USA. Naprostá většina těchto obchodů je uzavírána s podnikovými dluhopisy.

Následující tabulka 2.1 obsahuje údaje o tržní kapitalizaci největších deseti burz, jak je uvádí World Federation of Exchange (WFE) za roky 2012 a 2013 a také meziroční procentní změny ve výši tržní kapitalizace každé z burz.

Tab. 2.1: Tržní kapitalizace deseti největších světových burz na konci let 2013 a 2012

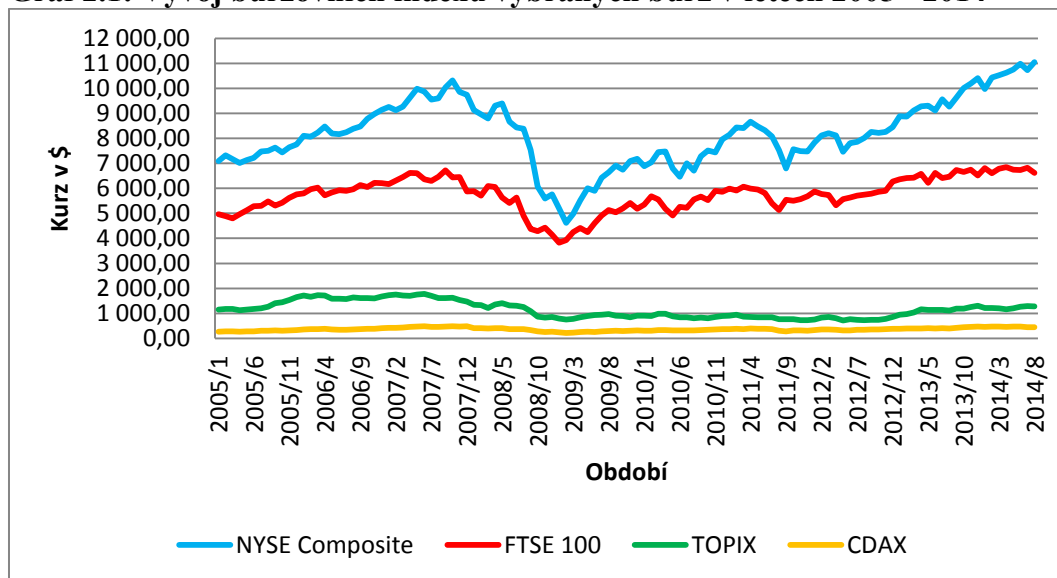
Pořadí	Burza	Tržní kapitalizace v mld. \$		Meziroční změna v %
		Konec roku 2013	Konec roku 2012	
1	NYSE (US)	17 950	14 086	27
2	NASDAQ OMX	6 085	4 582	33
3	Japan Exchange Group	4 543	3 681	23
4	Londong Stock Exchange Group	4 429	3 397	30
5	NYSE (Europe)	3 584	2 832	27
6	Hong Kong Exchanges	3 101	2 832	9
7	Shanghai SE	2 497	2 547	-2
8	TMX Group	2 114	2 059	3
9	Deutshce Börse	1 936	1 486	30
10	SIX Swiss Exchange	1 541	1 233	25

Zdroj: Vlastní zpracování dle dat z <http://www.world-exchanges.org>

Z tabulky 2.1 je zjevné dominantní postavení NYSE (pouze americká část této burzy zaujímá první příčku, evropská část pak příčku pátou). Druhou největší burzou dle kapitalizace je pak NASDAQ OMX, která sídlí v New Yorku. Třetí příčka náleží Japan Exchange Group se sídlem v Tokyu a na čtvrté pozici je umístěna londýnská burza London Stock Exchange Group.

V grafu 2.1 lze spatřit vývoj akciových indexů vybraných burz, a to za období od ledna 2005 do srpna 2014. Mimo index NYSE Composite (newyorská burza) graf obsahuje také indexy FTSE 100 (London Stock Exchange Group), TOPIX (Japan Exchange Group) a CDAX (Deutsche Börse). Ve sledovaném období lze spatřit jistý podobný vývoj jednotlivých indexů. U všech čtyř vybraných burz je patrný propad v roce 2008, kdy udeřila světová finanční krize, avšak nejznatelněji se tato událost podepsala na vývoji na newyorské burze.

Graf 2.1: Vývoj burzovních indexů vybraných burz v letech 2005 - 2014



Zdroj: Vlastní zpracování dle dat z <http://www.world-exchanges.org/>

Výše uvedený graf 2.1 tedy relativně potvrzuje propojenost světových trhů, neboť vývoj burzovních indexů je obdobný. Nejzřetelnější je pak propojenost newyorské a londýnské burzy, kdy vývoj indexu FTSE 100 v podstatě kopíruje vývoj indexu NYSE Composite.

3 Popis stanovení míry rizika eliptických rozdělení

V této kapitole budou představena rozdělení pravděpodobnosti a metody, jak tato rozdělení testovat, neboť při výpočtu rizika je důležité určit, jaké pravděpodobnostní rozdělení náhodné veličiny mají. Dále bude teoreticky vymezen postup při výpočtu rizika portfolia při aplikaci metodologie Value at Risk. Tato kapitola je zpracována převážně s využitím publikací Alexander (2008), Holton (2003), Zmeškal (2013), Anděl (2011), Guermat a Harris (2000) a Lu, Huang a Gerlach (2010).

3.1 Rozdělení pravděpodobnosti

Value at Risk je jeden z nejpoužívanějších nástrojů k řízení tržních rizik, avšak hrubým nedostatkem, jež snižuje vypovídací schopnost, je častý předpoklad normálního rozdělení pravděpodobnosti výnosů finančních aktiv. Reálně totiž rozdělení pravděpodobnosti výnosů má tendenci k tzv. *těžkým koncům*, takového rozdělení pravděpodobnosti je pak také nazýváno leptokurtické.

Jako eliptické rozdělení pravděpodobnosti lze označit jakýkoliv člen rodiny pravděpodobnostních rozdělení, které zobecňují vícerozměrné normální rozdělení. Platí také, že jakákoliv lineární kombinace eliptických rozložení je eliptickým rozložením. Ve zjednodušených dvou a třírozměrných případech vytváří eliptické rozložení elipsy a elipsoidy. Platí také, že nulová korelace mezi dvěma proměnnými z normálního rozdělení značí nezávislost jen a pouze pro normální rozdělení, tato implikace však nelze využít pro jakékoliv jiné eliptické rozdělení. Eliptické rozložení je možné vyjádřit pomocí charakteristické rovnice či prostřednictvím funkce hustoty. Existuje-li, funkce hustoty má pak takovýto tvar:

$$f_X(x) = \frac{c_n}{\sqrt{|\Sigma|}} \cdot g_n \cdot \left[(x - \mu)^T \cdot \Sigma^{-1} \cdot (x - \mu) \right], \quad (3.1)$$

kde $\frac{c_n}{\sqrt{|\Sigma|}}$ je měřítko, x je n -rozměrný náhodný vektor, μ je střední hodnota, Σ je pozitivně definitní matice, která je úměrná kovarianční matici, jestliže existuje, a g_n je generátorem hustoty, jenž je pro každé jednotlivé rozdělení z eliptických rozdělení specifický.

Generátor hustoty je tedy odlišný v závislosti na konkrétním eliptickém rozdělení pravděpodobnosti. Jako ukázka této odlišnosti jsou uvedeny generátory hustoty pro následujících pět rozdělení, a to pro rozdělení normální, Studentovo, Cauchyho a Laplaceovo a logistické rozdělení pravděpodobnosti. Za předpokladu normálního rozdělení pravděpodobnosti lze generátor hustoty vyjádřit následovně:

$$g_n(u) = \exp\left(-\frac{u}{2}\right), \quad (3.2)$$

pro Studentovo rozdělení pak generátor hustoty má tvar:

$$g_n(u) = \left(1 + \frac{u}{m}\right)^{-\frac{(n+m)}{2}}, \quad (3.3)$$

bere-li se v úvahu Cauchyho rozdělení pravděpodobnosti, pak je generátor hustoty vyjádřen jako:

$$g_n(u) = (1 + u)^{-\frac{(n+1)}{2}} \quad (3.4)$$

a to za předpokladu, že m je kladné celé číslo. Generátor hustoty pro Laplaceovo rozdělení má následující tvar:

$$g_n(u) = \exp(-|u|), \quad (3.5)$$

uvažuje-li se o logistickém rozdělení pravděpodobnosti, pak generátor hustoty vypadá následovně:

$$g_n(u) = \frac{\exp(-u)}{[1 + \exp(-u)]^2}. \quad (3.6)$$

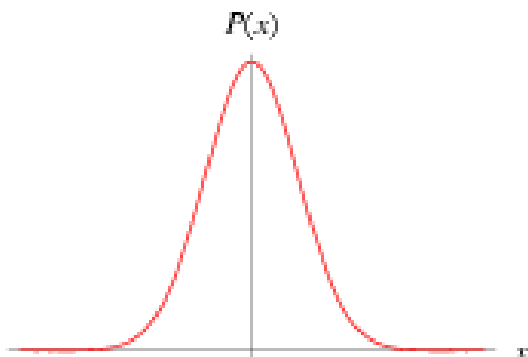
3.1.1 Normální rozdělení pravděpodobnosti

Obecné normální nebo také Gaussovo rozdělení pravděpodobnosti je jedním z nejznámějších rozdělení pravděpodobnosti. Základními výhodami tohoto rozdělení je možnost využít jej k aproximaci jiných rozdělení pravděpodobnosti, tedy za předpokladu, že jsou splněny určité podmínky, a také to, že se vyskytuje nejčastěji. Gaussovo rozdělení je značeno obecně jako $N(\mu, \sigma^2)$, kde μ značí střední hodnotu a σ^2 rozptyl. Velmi častý je však speciální případ obecného normálního rozložení, a to normované normální rozdělení $N(0,1)$. Rovnice sloužící k vyjádření hustoty normálního rozdělení pravděpodobnosti vypadá následovně:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}. \quad (3.7)$$

Na obrázku 3.1 lze vidět graf hustoty normálního rozdělení pravděpodobnosti, tedy Gaussovu křivku. Střední hodnota určuje maximum křivky a směrodatná odchylka pak to, jak je po obou stranách křivka roztažena do šířky.

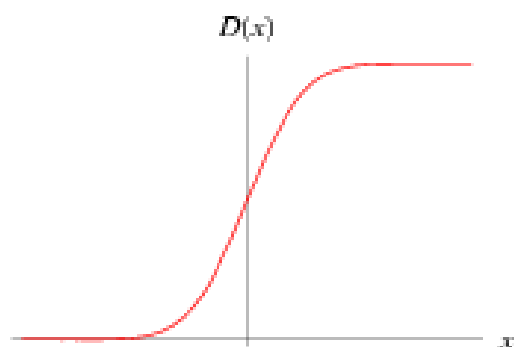
Obr. 3.1: Graf hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



Zdroj: <http://mathworld.wolfram.com>

Obrázek 3.2 ilustruje průběh distribuční funkce normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Obr. 3.2: Distribuční funkce normálního rozdělení pravděpodobnosti



Zdroj: <http://mathworld.wolfram.com>

3.1.2 Studentovo rozdělení pravděpodobnosti

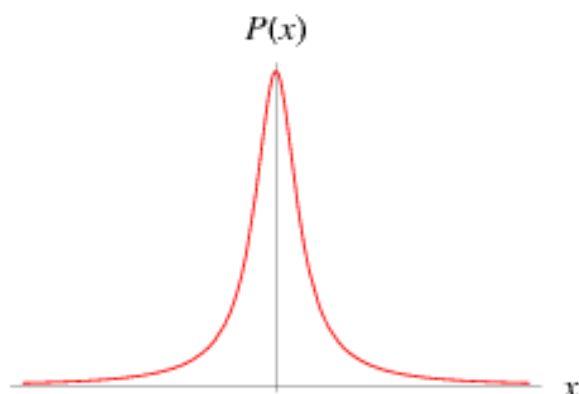
Studentovo rozdělení neboli *t-rozdělení* je rozdělení pravděpodobnosti velmi často využívané v matematické statistice, převážně v teorii náhodných výběrů. Toto rozdělení umožňuje i pro soubor s malým rozsahem dat dělat přijatelné závěry. Studentovo rozdělení má hustotu:

$$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)\sqrt{\pi n}} \left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}, \quad (3.8)$$

kde n je počet stupňů volnosti a Γ je tzv. funkce gama.

Na obrázku 3.3 lze spatřit hustotu Studentova rozdělení pravděpodobnosti. Křivka hustoty je symetrická a podobá se tvarem Gaussově křivce, avšak křivka Studentova rozdělení mění tvar v závislosti na hodnotě parametru *stupně volnosti*, čím je hodnota tohoto parametru menší, tím je křivka plošší.

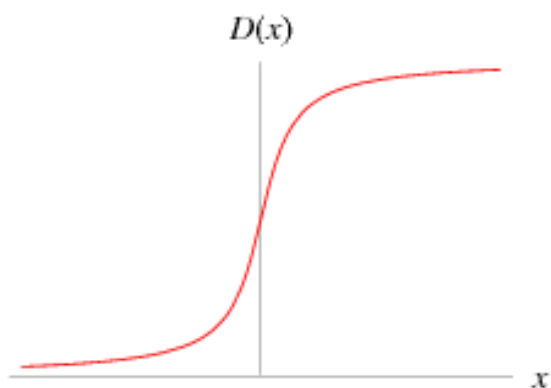
Obr. 3.3: Graf hustoty Studentova rozdělení pravděpodobnosti



Zdroj: <http://mathworld.wolfram.com>

Obrázek 3.4 pak ilustruje průběh distribuční funkce Studentova rozdělení pravděpodobnosti.

Obr. 3.4: Distribuční funkce Studentova rozdělení pravděpodobnosti



Zdroj: <http://mathworld.wolfram.com>

Z obrázků 3.3 a 3.4 je patrné, že Studentovo rozdělení pravděpodobnosti má velmi podobný průběh jako rozdělení normální.

3.1.3 Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti

Laplaceovo rozdělení bývá označováno také jako dvojité exponenciální rozdělení pravděpodobnosti. Toto rozdělení se vyskytuje v případech, kdy jsou náhodné veličiny měřeny za předpokladu kolísání rozptylu kolem určité střední hodnoty. Laplaceovo rozdělení je o poznání špičatější ve srovnání s normálním rozdělením, má také delší konce. Toto rozdělení se využívá jako „robustní“ alternativa normální rozdělení, neboť připouští

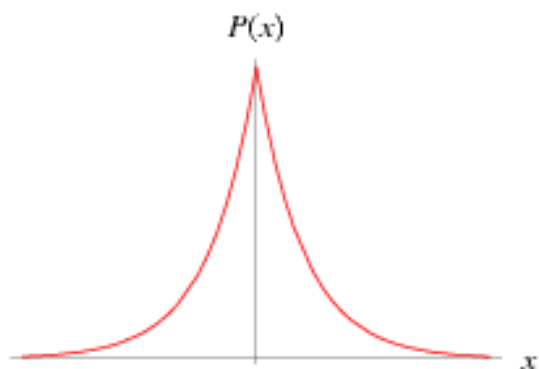
výskyt výrazněji odchýlených hodnot. Hustota Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti je vyjádřena jako:

$$f(x) = \frac{1}{2b} \exp \left\{ -\frac{|x-a|}{b} \right\} \quad (3.9)$$

kde a je parametr umístění a b je parametr měřítka, kdy $b \geq 0$.

Obrázek 3.5 ilustruje křivku hustoty Laplaceova rozdělení.

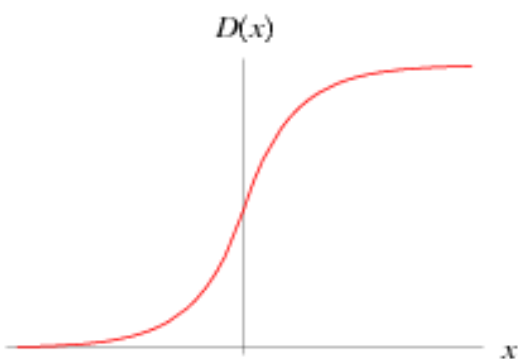
Obr. 3.5: Graf hustoty Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti



Zdroj: <http://mathworld.wolfram.com>

Na následujícím obrázku 3.6 lze spatřit distribuční funkci Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti.

Obr. 3.6: Distribuční funkce Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti



Zdroj: <http://mathworld.wolfram.com>

Typů rozdělení pravděpodobnosti je mnohem více, než je výše uvedeno. Příkladem dalších eliptických rozdělení může být χ^2 rozdělení pravděpodobnosti, logaritmické,

Poissonovo či Fischerovo-Snedecorovo rozdělení pravděpodobnosti. Avšak rozdělení pravděpodobnosti není hlavní náplní této práce, dále charakterizováno tedy nebude.

3.2 Testování rozdělení pravděpodobnosti

I přesto, že se k sobě mohou různá rozdělení pravděpodobnosti blížit, ne všechna se chovají stejně a nemají ani stejnou hustotu rozdělení pravděpodobnosti či distribuční funkci. Pro přesnější výsledky výpočtů je proto základem zjistit, jaké rozložení pravděpodobnosti náhodné veličiny mají. Pro testování rozložení pravděpodobnosti je možné využít analytických a grafických testů.

3.2.1 Test dobré shody

K ověření hypotézy, zda má náhodná veličina určité předpokládané rozdělení pravděpodobnosti, je možné využít test dobré shody neboli Pearsonův chí-kvadrát test, jenž je jednou z metod matematické statistiky. Je v něm testována nulová hypotéza H_0 , že náhodná veličina má předpokládané rozdělení, oproti alternativní hypotéze H_1 , dle které toto rozdělení náhodná veličina nemá. Postup při testu dobré shody je následující:

- Obor všech možných hodnot náhodné veličiny X je rozdělen do k disjunktních tříd,
- pro každou třídu je stanovena pravděpodobnost p_i , že náhodná proměnná X nabude hodnoty z i -té třídy. Tato pravděpodobnost je propočtena dle očekávaného rozdělení,
- jsou stanoveny očekávané četnosti náhodné veličiny z předpokládaného rozdělení v jednotlivých třídách,
- dopočte se testovací kritérium jako

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - f_{oi})^2}{f_{oi}} \quad (3.10)$$

kde k je počet tříd v souboru, f_i jsou pozorované četnosti a f_{oi} jsou teoretické četnosti.

V závěru je ověřeno, zda spadá vypočtené testovací kritérium do oboru kritických hodnot, který je dán intervalem

$$W = (\chi_p^2(k-s-1); \infty), \quad (3.11)$$

kde k je počet tříd, s je počet parametrů očekávaného rozdělení a p je hladina významnosti.

Patří li hodnota χ^2 do oboru kritických hodnot, pak je nulová hypotéza zamítnuta a je přijata hypotéza alternativní, náhodná veličina nemá předpokládaný typ rozdělení.

3.2.2 Histogram

Histogram je řazen mezi grafické metody testování rozdělení pravděpodobnosti. Histogram znázorňuje distribuci dat prostřednictvím sloupcového grafu, jež na ose x zachycuje šířku intervalů (tříd). Výška sloupců představuje četnost sledované veličiny. Je podstatné zvolit správnou šířku intervalu, neboť nesprávná šířka může snížit informační hodnotu histogramu. Počet tříd je obvykle volen dle Sturgesova pravidla, je-li soubor symetrický a to jako:

$$k = 1 + 3,3 \log n, \quad (3.12)$$

kde k je počet tříd a n počet prvků v pozorování. Jde-li o soubor nesymetrický, pak je počet tříd volen jako:

$$k = \sqrt{n} \quad (3.13)$$

Délka třídy je stanovena jako:

$$h \approx \frac{x_n - x_1}{m}. \quad (3.14)$$

3.2.3 Q-Q test

Q-Q test neboli Q-Q plot je grafem pro diagnostiku, zda data pocházejí ze stanoveného rozdělení. Na ose x jsou vyneseny teoretické kvantily daného rozdělení, a na ose y jsou výběrové kvantily přímo z dat. Pro data, která nemají žádná odlehlá pozorování má graf tvar

přímky, existují-li v souboru odlehlá pozorování, pak graf má tvar přímky s koncovými body ležícími mimo tuto přímku. Čím blíže jsou body (kvantily reálně naměřených pozorování) k přímce předpokládaného rozložení, tím je přesnější odhad souladu empirického a předpokládaného rozdělení.

Prostřednictvím programu IBM SPSS Statistics 22 budou v praktické části k otestování pravděpodobnostního rozdělení využity zmíněné grafické testy, tedy histogram a Q-Q test.

3.3 Stanovení rozptylu

Stanovení volatility je jednou z nejdůležitějších částí procesu stanovení VaR. Volatilita totiž představuje nejistotu budoucího vývoje aktiva, jedná se o základní nástroj řízení rizik. Z hlediska statistického jde o směrodatnou odchylku, většinou jednodenních spojitých výnosů, která je určena z historických dat a predikovaná pomocí modelů do budoucna. Stejný postup bude uplatněn i v této práci – na základě historických časových řad bude predikován vývoj rozptylu, z něj pak směrodatná odchylka.

Nejčastěji jsou k předvídaní využívány klouzavé průměry, cílem je zachytit trend historického vývoje rizika a použít jej jako předpoklad budoucnosti. Extrémní hodnoty však způsobovaly zkreslení, proto byly vyvinuty tzv. exponenciální klouzavé průměry, ty přiřazují některým pozorováním vyšší či naopak nižší váhu, přičemž více bývají ve výpočtu zhodnocené poslední hodnoty.

3.3.1 Model EWMA – standardní a robustní verze

V praxi se nejvíce využívají tzv. ARCH modely, z nichž je nejjednodušším, avšak velmi používaným GARCH model (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity), jedná se o model podmíněného rozptylu, který předpokládá heteroskedasticitu. Obecný model má však tři parametry, které je nutné odhadnout, a proto byl vyvinut model EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) neboli exponenciálně vážený klouzavý průměr, který bude v této práci využit. Jde o zvláštní případ modelu GARCH, pro který je nutné odhadnout pouze jeden parametr, tlumící faktor λ , který se musí nacházet v rozmezí 0 a 1.

Rovnice modelu EWMA vypadá takto:

$$\sigma_{t+1,t}^2 = (1-\lambda) \cdot r_t^2 + \lambda \cdot \sigma_{t,t-1}^2 \quad (3.15)$$

kde $\sigma_{t+1,t}^2$ je predikovaný rozptyl v čase t na čas $t+1$, r_t^2 je skutečný rozptyl. Zjištění parametru λ je prováděno na základě minimalizace kritéria RMSE, nejdříve je definována chyba v předpovědích modelu jako:

$$q_t = r_t^2 - \sigma_{t,t-1}^2, \quad (3.16)$$

a účelovou funkcí minimalizace pak je:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{t=1}^T q_t^2} \rightarrow \min \quad (3.17)$$

Výše uvedená EWMA je označována jako standardní verze, která je využívána za předpokladu normálního rozdělení pravděpodobnosti. Avšak v této práci nebude využito pouze této standardní verze, ale také verze robustní, která je základem pro výpočet VaR za předpokladu, kdy výnosy aktiva mají Laplaceovo rozložení. Robustní verze EWMA modelu je totiž méně citlivá na extrémní hodnoty pozorování, a proto lze očekávat, že bude více efektivní za předpokladu, že výnosy aktiv mají rozložení leptokurtické (kam lze zařadit Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti), nikoliv normální. Postup při výpočtu je téměř identický, opětovně je nutné odhadnout pouze tlumicí faktor λ , a to na základě minimalizace kritéria RMSE. Avšak rovnice modelu EWMA – robustní verze má následující tvar:

$$\sigma_{t+1}^2 = \left\{ \lambda \sigma_t + (1-\lambda) \sqrt{2} |z_t| \right\}^2, \quad (3.18)$$

kde σ_{t+1}^2 je predikovaný rozptyl, λ je tlumicí faktor, σ_t je skutečná směrodatná odchylka výnosů, $|z_t|$ jsou skutečné výnosy v absolutní hodnotě.

3.4 Value at Risk

V úvodu 90. let šéf investiční banky J. P. Morgan, Dennis Weatherstone požadoval po svých zaměstnancích, aby mu vždy na konci každého dne předložili stránkovou zprávu o rizicích a ztrátách za celé obchodované portfolio banky, které lze očekávat druhý den. Metoda, kterou pracovníci této banky vyvinuli, je označována jako *hodnota v riziku* (Value at Risk), nejdříve byla využívána pouze v bance J. P. Morgan, avšak v roce 1993 byla předvedena na konferenci o risk managementu, kde vzbudila zájem. Banka se zavázala, že zveřejní metodologii pro výpočet a poskytne potřebná data – především kovarianční matice. Metoda byla dále upravována a v roce 1994 byla představena pod názvem *Risk Metrics*. Pro metodu samotnou se ujal zkrácený název *VaR*, eventuálně *Value at Risk*. Základní informace o této metodě obsahuje *Risk Metrics – Technical Document*.

Hlavní výhodou této metody je převážně to, že na jejím základě jsou všechna rizika převedena na společného jmenovatele – změnu hodnoty portfolio finančních aktiv – a jedno číslo sumarizuje celkové riziko portfolio.

3.4.1 Definice Value at Risk

Value at Risk je prezentováno jako potenciální ztráta, které může instituce dosáhnout u svého portfolio při nepříznivých tržních změnách, a to s určitou pravděpodobností během určité doby držení, jež je stanovena na základě jistého historického období. Matematicky je VaR definován jako jednostranný kvantil (například 99 %) z rozdělení zisků a ztrát portfolio během jisté doby držení (například deset dní), stanovený na základě historického období (například jeden rok).

VaR může být interpretováno následovně: jsme si na x procent jisti, že ztráta nebude větší než VaR peněžních jednotek během následujících n dní. VaR je tedy funkcí dvou parametrů, a to časového horizontu (n dní) a hladiny spolehlivosti (x procent). Jde o úroveň ztráty, jež s pravděpodobností x procent nebude přesažena. VaR lze definovat i jako ztrátu, která odpovídá $(100-x)$ – tému percentilu rozdělení pravděpodobnosti změny v hodnotě portfolio během následujících n dní. Například: je-li $n=5$ a $x=98\%$, pak VaR je druhý percentil rozdělení pravděpodobnosti v hodnotě portfolio během následujících pěti dní. Tato definice VaR je **absolutní VaR**. Kromě absolutního je také využíván **marginální VaR**, což je

mírou toho, o kolik vzroste absolutní VaR portfolia při přidání či vynětí určitého nástroje. Tuto míru lze tedy využít ke stanovení instrumentu, který nejvíce přispívá k celkovému riziku portfolia.

VaR je vhodné stanovit pro řadu dob držení, i přesto, že použití krátkých časových horizontů (den) může být výhodné pro každodenní řízení rizik, manažeři stanovují také VaR pro delší doby držení, krátký časový horizont je totiž založen na předpokladu, že trh bude dostatečně likvidní, a tedy pozice bude možné uzavřít při minimálních ztrátách. Avšak za krizové situace může být naopak s likviditou problém. Pak bude nutné pozice držet déle a tímto neočekávaným prodloužením doby držení se zvýší rizikovost oproti původním předpokladům – pravděpodobnost změny ceny se totiž zvyšuje s rostoucí dobou držení.

Finanční instituce, jako jsou banky, využívají jednodenní dobu držení, delší doba totiž není vhodná vzhledem k charakteru portfolia. Investiční manažeři naopak používají dobu držení měsíční, podniky až čtvrtletní či roční.

Je nutné zdůraznit, že VaR nepředstavuje maximální možnou ztrátu, a to v žádném případě, ani nic neříká o velikosti ztrát, které mohou nastat s nižší než zvolenou pravděpodobností. Ty totiž nejen, že mohou mnohonásobně převyšovat VaR, ale také se mohou lišit pro dvě portfolia se stejným VaR. Je vhodné nesledovat VaR jen na jedné hladině pravděpodobnosti, ale vyčíslit potenciální ztrátu na hladinách různých.

3.4.2 Odvození Value at Risk

Při určení hodnoty VaR se vychází z předpokladu, který se týká pravděpodobnosti, a to, že náhodný zisk z portfolia aktiv ($\Delta\Pi$) bude menší než předem stanovená hladina zisku ($ZISK$). Tato pravděpodobnost by měla být rovna stanovené hladině významnosti α . Platí-li, že zisk lze vyjádřit jako zápornou ztrátu, je možné předchozí předpoklad zapsat jako:

$$\Pr(\Delta\Pi \leq ZISK) = \alpha \quad (3.19)$$

Vzhledem k tomu, že zisk lze vyjádřit jako zápornou ztrátu, a zároveň hodnota VaR vyjadřuje ztrátu, je možné předchozí vztah (3.19) upravit následovně:

$$\Pr(\Delta\Pi \leq -VaR) = \alpha, \quad (3.20)$$

kde $-VaR$ je opačná hodnota k hodnotě VaR. Tento vztah udává, že hodnota zisku bude menší než opačná hodnota ke kritériu VaR s pravděpodobností rovnou hladině významnosti α .

Pro analytické vyjádření VaR je výchozím bodem rovnice (3.21), do které je dosazena substituce (3.22), ve které g je náhodné a patří do normálního rozdělení, a tím je získána rovnice (3.23).

$$\Pr(\Delta\Pi + VaR \leq 0) = \alpha \quad (3.21)$$

$$g = \Delta\Pi + VaR \quad (3.22)$$

$$\Pr(g \leq 0) = \alpha \quad (3.23)$$

Dále je provedena normalizace rovnice, a to za účelem získání normovaného normálního rozdělení, přičemž je získán tvar:

$$\Pr\left(\frac{g - E(g)}{\sigma(g)} \leq \frac{0 - E(g)}{\sigma(g)}\right) = \alpha. \quad (3.24)$$

Za předpokladu, že:

$$E(g) = E(\Pi + VaR) = E(\Pi) + VaR, \quad (3.25)$$

$$\sigma(g) = \sigma(\Pi),$$

$$\frac{0 - E(g)}{\sigma(g)} = \Phi^{-1}(\alpha),$$

byl odvozen vztah:

$$\frac{E(\Pi) - VaR}{\sigma(\Pi)} = \Phi^{-1}(\alpha), \quad (3.26)$$

kde VaR značí hodnotu kritéria Value at Risk, $E(\Pi)$ je střední hodnota náhodného zisku portfolia, $\sigma(\Pi)$ je rozptyl náhodného zisku portfolia a $\Phi^{-1}(\alpha)$ představuje distribuční funkci normovaného normálního rozdělení při hodnotě pravděpodobnosti, která je rovna hladině významnosti α . Z tohoto vztahu je pak určen výsledný analytický vzorec pro výpočet VaR, jež ve tvaru:

$$VaR = -\Phi^{-1}(\alpha) \cdot \sigma(\Pi) - E(\Pi) \quad (3.27)$$

Získaný vzorec (3.27) pro výpočet Value at Risk má významnou roli, a to především proto, že názorně ukazuje definici hodnoty VaR. Při vybraných aplikacích metody Value at Risk se předpokládá, že střední hodnota výnosu aktiv, a tedy i portfolia je rovna nule. Pak dochází k modifikaci vztahu (3.27).

Nejčastěji uváděný tvar pro stanovení hodnoty Value at Risk za předpokladu normálního rozdělení vypadá takto:

$$VaR_{t+1} = \Phi^{-1} \cdot (1 - \alpha) \cdot \sigma_{t+1}(\Pi). \quad (3.28)$$

Pro výpočet ukazatele Value at Risk jsou v praxi spíše využívány jiné přístupy, ty jsou popsány v dalším textu, avšak v praktické části bude využit právě tento přístup, tedy přístup analytický.

Výše uvedená rovnice (3.28) slouží k výpočtu hodnoty VaR za předpokladu normálního rozdělení výnosů. Avšak, bude-li pravděpodobnostní rozdělení výnosů jiné, než normální, konkrétně Laplaceovo, pak se analyticky Value at Risk stanoví jako:

$$VaR_{t+1} = L \cdot \sigma_{t+1}, \text{ kde} \quad (3.29)$$

$$L = -\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \ln(2 \cdot \alpha), \quad (3.30)$$

kde $\sigma_t + 1$ je směrodatná odchylka vypočtená pomocí modelu EWMA – robustní verze a α je hladina významnosti, pro kterou je VaR počítáno. Koeficient L plní při výpočtu obdobnou úlohu jako v případě normálního rozdělení distribuční funkce.

3.4.3 Metody výpočtu Value at Risk

Obecně jsou pro výpočet Value at Risk využívány tři metody, a to metoda historické simulace, metoda variance a kovariance a metoda simulace Monte Carlo. Jak již bylo zmíněno, v práci bude využit analytický přístup pro výpočet, avšak v této části budou shrnuty principy každého z těchto tří základních přístupů a představeny silné a slabé stránky.

Historická simulace je prvním přístupem. Metoda je hojně využívána, dle průzkumů, o kterých hovoří ve své publikaci Alexander (2008), přibližně tři čtvrtiny bank preferují právě tento přístup. Podstatou metody je využití historických dat (výnosů) k vytvoření rozdělení pravděpodobnosti, čehož je docíleno při seřazení dat dle velikosti. Získané rozdělení pravděpodobnosti však obvykle neodpovídá matematickému rozdělení, nýbrž mívá individuální tvar. Value at Risk je získáno jako α percentil ze vzestupně seřazených hodnot. Pak lze říci, že s pravděpodobností x nebudou ztráty větší než je hodnota VaR (například, je-li využito 300 hodnot a hladiny spolehlivosti $\alpha = 0,05$, pak VaR je 15. nejnížší hodnota).

Podstatou výpočtu VaR historickou metodou je získání kvantilu či percentilu z historického rozdělení pravděpodobnosti. Jinými slovy – nejhorší předvídaná ztráta na určité hladině pravděpodobnosti lze určit na základě příslušného kvantilu. Například, pro interval spolehlivosti 99 % se hledá hodnota, u které v 99 % případů nebude ztráta větší. Čím větší je interval spolehlivosti, tím nižší hodnoty – vyšší ztráty lze očekávat. Metoda historické simulace je jednou z neparametrických metod určení hodnoty VaR, jež jsou založeny na předpokladu, že blízká budoucnost se bude vyvíjet dle nedávné minulosti. Potenciální změny v rozdělení rizikových faktorů jsou tedy stejné jako historicky pozorované. Metoda je považována za nejjednodušší, časově nenáročnou a také lehce pochopitelnou. Samotný postup výpočtu hodnoty VaR lze rozdělit do několika na sebe navazujících kroků:

- a) prvním krokem je mapování portfolia, neboli identifikace rizikových faktorů, které ovlivňují hodnotu portfolia (cena akcií, devízové kurzy, úroková míra, ...),

- b) další krok spočívá v sestavení vzorku dat (určí se časový horizont, případně se upraví),
- c) dále je přistoupeno k přecenění portfolia podle historického vývoje jednotlivých rizikových faktorů, kdy se počet scénářů rovná počtu obchodních dní,
- d) předposlední krok představuje sestavení histogramu a nalezení požadovaného percentilu, uvažuje-li se konkrétní hladina spolehlivosti,
- e) a závěrečným krokem je výsledný jednodenní VaR, jež lze následně převést na N-denní VaR.

Alexander (2008) se věnuje poměrně detailně výběru časového horizontu, považuje i data za 4 roky za nedostatečná, avšak na druhou stranu zdůrazňuje i možné problémy spojené s použitím takto dlouhých časových řad (problém s různými podmínkami na trzích například v dobách krize, kdy panuje větší volatilita rizikových faktorů). Jiní autoři se vesměs shodují na tom, že data čítající 500 údajů představují dostatečně velkou časovou periodu a zároveň jsou dostatečně krátká, aby tržní změny vyjadřovala vhodně. Historická simulace vyžaduje, aby se na historických datech simulovaly změny stejného portfolia, nemění se tedy váhy jednotlivých instrumentů a instrumenty v portfoliu nepřibývají.

Jako každá metoda má historická simulace výhody i nevýhody. Mezi *výhody* lze zahrnout:

- snadnost a rychlost výpočtu, lehká interpretovatelnost,
- v datech je zahrnut i problém tzv. „těžkých konců“,
- je možné a rychlé změnit hladinu významnosti,
- není třeba odhadovat parametry náhodného rozdělení rizikových faktorů,
- možnost využití pro jakékoliv portfolio.

Základní *nevýhodou* historické simulace je však naprostá závislost na typu, rozsahu a dostupnosti dat, která jsou zvolena pro výpočet. Druhou nevýhodou je pak předpoklad, že minulá data mají reflektovat budoucí vývoj, časová řada přitom může být natolik krátká, že nezachytí například tržní krachy s nízkou časovou frekvencí, či naopak – zvolená časová řada charakterizuje období nízké volatility, avšak dnes na trzích panuje období volatility vysoké.

Druhým přístupem je **variančně kovarianční metoda**, někdy označována jako Delta Normal přístup. Alexander (2008) upozorňuje na to, že označovat tuto metodu jako *kovarianční VaR* je zavádějící, neboť v nejzákladnější formě metody Monte Carlo je využívána kovarianční matice výnosů rizikových faktorů. Delta Normal přístup je z kategorie lineárních modelů VaR, pro které se předpokládá, že výnosy portfolia jsou lineárně závislé na rizikových faktorech. V rámci této metody je využíváno k odhadu potenciálních ztrát portfolia historických statistik o volatilitách hodnot a o korelacích mezi těmito hodnotami. Metoda je založena na určitém rozdělení pravděpodobnosti rizikových faktorů a předpokládaných korelací mezi nimi. Podstatou metody je předpoklad normálního rozdělení změn hodnot portfolia, jenž je charakterizováno určitou střední hodnotou a směrodatnou odchylkou (resp. rozptylem). Oba parametry se přitom odhadnou na základě historických dat jednak pro celé portfolio, jednak pro každý z rizikových faktorů zvlášť.

VaR vychází z volatility portfolia, hledá se tedy příslušný kvantil vícerozměrného normálního rozdělení. To se získá z volatilit jednotlivých rizikových faktorů a korelačních koeficientů mezi těmito faktory.

Výhodami variančně kovarianční metody je snadnost úpravy hladiny významnosti, dále možnost využití vážení směrodatných odchylek výnosů, což má okamžitý vliv na velikost VaRu.

Mezi *nevýhodami* lze zařadit závislost na minulých datech a způsobu jak je proveden odhad volatilit. Slabinou je určitě také předpoklad určitého rozdělení výnosů, nejčastěji rozdělení normálního.

Posledním přístupem je v praxi velmi rozšířená **simulace Monte Carlo**, jejíž podstatou je simulování řady scénářů o budoucím vývoji podkladového instrumentu. Z těchto scénářů je následně zjištěno rozdělení pravděpodobnosti, které se opět stane podkladem pro výpočet VaR. Jedná se o podobnou metodu historické simulaci, přístup je srovnatelný, avšak místo historických dat jsou generována budoucí data, hypotetická. Scénáře pak využívají určitého předpokladu o vývoji výnosu aktiva v budoucnu. Základními údaji bývá většinou střední hodnota a rozptyl historických dat. Dále jsou simulovány náhodné vývoje hodnot portfolia, většinou pro několik tisíc scénářů. Z této simulace je zjištěno reálné rozdělení pravděpodobnosti budoucích dat. Simulace tedy vychází z předpokladu, že při dostatečně

velkém množství scénářů lze nasimulovat pravdivý budoucí vývoj, přičemž se vychází z těchto kroků:

- určení všech rizikových faktorů (nejčastěji ceny akcií a úrokové míry),
- stanovení parametrů a počtu scénářů,
- simulace rizikových faktorů,
- přecenění portfolia pro každý ze scénářů,
- zjištění VaR.

Výhodou simulace Monte Carlo je možnost zachycení problematiky tzv. „tlustých konců“, další výhodou je široké využití metody - lze ocenit jakékoliv portfolio, neboť v jejím rámci lze pracovat s jakýmkoliv pravděpodobnostním rozdělením. Metoda je ve své podstatě jednoduchá a lehce pochopitelná.

Nevýhodou je časová náročnost, neboť simulace je efektivní až při využití několika tisíc scénářů.

4 Stanovení míry rizika portfolia akcií s eliptickým rozdělením pravděpodobnosti

V této kapitole bude vypočtena hodnota Value at Risk akciového portfolia, které bylo sestaveno z akciových titulů obchodovaných na burze New York Stock Exchange. Hodnota Value at risk je vyčíslena pro časový horizont jednoho dne, a to na hladině významnosti 0,05. Budou však také provedeny modifikace výpočtu pro jiné hladiny významnosti.

V úvodu je toto akciové portfolio představeno, dále je proveden odhad a předpověď rozdělení pravděpodobnosti výnosů, kdy je zjištěno, že výnosy portfolia nejlépe odpovídají Laplaceovu rozdělení pravděpodobnosti. Následuje aplikace analytické metody pro výpočet hodnoty Value at risk za předpokladu Laplaceova rozložení pravděpodobnosti výnosů finančních aktiv. Následně je zjištěna hodnota Value at Risk portfolia za předpokladu normálního rozdělení pravděpodobnosti výnosů finančních aktiv obsažených v portfoliu. Pro obě rozdělení je výpočet modifikován, a to pro předpověď týdenního Value at Risk pro sestavené portfolio, druhou formou modifikace je pak výpočet marginálního Value at Risk na hladině významnosti 0,05. Datem ocenění a počítání Value at Risk je datum 23. 1. 2015. K tomuto datu byly získány veškeré potřebné údaje pro výpočet a z tohoto dne byla také prováděna predikce budoucnosti

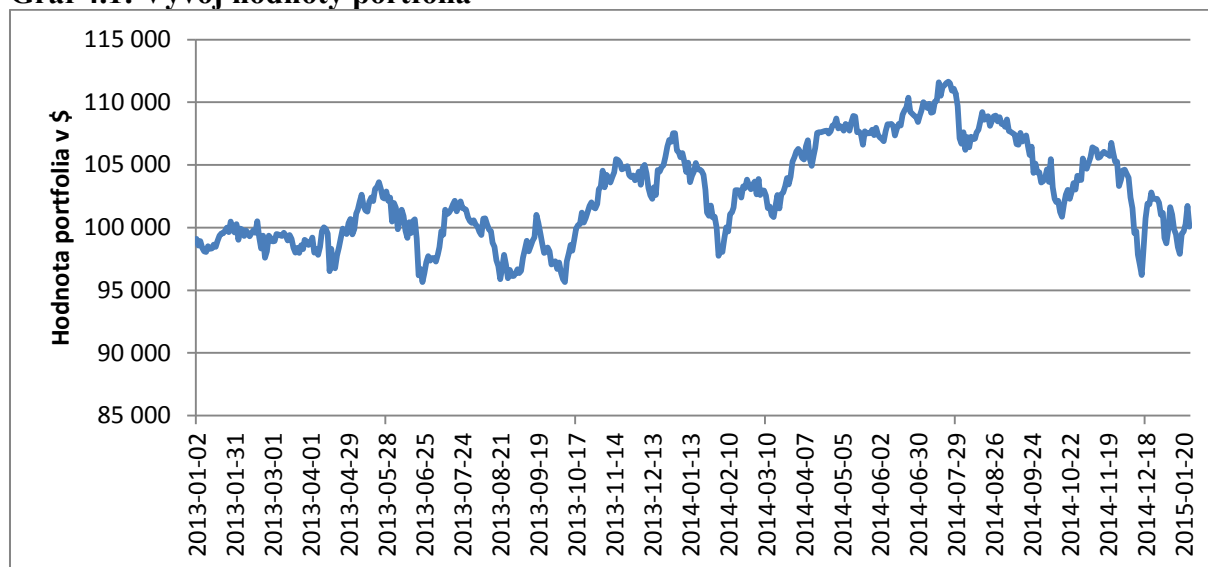
4.1 Sestavení portfolia a zjištění vstupních dat

Value at Risk je vyčísleno pro akciové portfolio, které obsahuje akciové tituly deseti společností. Akcie těchto společností jsou obchodovány na burze New York Stock Exchange (NYSE) a jsou součástí indexu NYSE Composite. Výběr skladby portfolia byl vesměs nahodilý, avšak základním požadavkem bylo sestavení diverzifikovaného portfolia. Proto byly vybrány podniky, které jsou reprezentanty odlišných sektorů. Pro výběr podniků byl využit žebříček Fortune: Global 500 za rok 2014, na základě kterého je dokumentováno pět set největších světových společností řazených dle dosažených tržeb.

Ceny akcií byly zjišťovány za období od 2. ledna 2013 do 23. ledna 2015, za sledované období je tedy k dispozici 524 denních závěrečných kurzů pro každou z akcií, přičemž tyto akcie jsou kótovány v amerických dolarech. Ceny akciových titulů pocházejí z databáze

newyorské burzy ze stránek www.nyse.com. Vývoj hodnoty portfolia v průběhu času vyobrazuje níže uvedený graf 4.1. Vývoj cen jednotlivých akcií za sledované období je pak zobrazen v grafech v Příloze č. 1.

Graf 4.1: Vývoj hodnoty portfolia



Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnota sestaveného portfolia měla během sledovaného období volatilní charakter. Avšak ani jednou neklesla pod 95 000 \$. Nejvyšší hodnoty portfolia bylo dosaženo v červenci 2014, a to 111 638 \$.

V tabulce 4.1 je zobrazeno přesné složení portfolia k 23. lednu 2015. Tato tabulka obsahuje označení jednotlivých akcií a portfolia, názvy společností, které emitovaly dané akciové tituly, cenu každé z akcií v amerických dolarech ke zmiňovanému datu, dále počet kusů každé z akcií, jež zaujímají v portfoliu svůj podíl a hodnotu akcií v amerických dolarech celkem.

Největší dolarový podíl (31 811,50 \$) na celkové hodnotě portfolia (100 063,10 \$) připadá na akcie společnosti Exxon Mobil, kterých bylo zakoupeno 350 kusů. Naopak nejmenší podíl představují akcie společnosti ArcelorMittal, kterých bylo zakoupeno 100 kusů a celková částka investovaná do akciových titulů této společnosti nepřesahuje tisíc dolarů (pouze 928,00 \$).

Tab. 4.1: Složení portfolia k 23. 1. 2015

Označení	Název	Cena akcie	Kusy akcií	Hodnota akcií celkem
A1	ArcelorMittal	9,28	100	928,00
A2	BHP Billiton	45,5	280	12 740,00
A3	ExxonMobil	90,89	350	31 811,50
A4	JP Morgan Chase & Co.	56,68	140	7 935,20
A5	Coca-Cola	43,31	400	17 324,00
A6	General Motors	33,75	40	1 350,00
A7	Microsoft Corp	47,18	270	12 738,60
A8	Philip Morris Int.	82,82	60	4 969,20
A9	Unilever	41,3	120	4 956,00
A10	Wal-Mart Stores Inc.	88,51	60	5 310,60
Hodnota portfolia celkem				100 063,10

Zdroj: Vlastní zpracování

Rizikovými faktory, které na sledované portfolio působí, jsou změna ceny akcií a změna kurzu měny.

4.1.1 Výpočet výnosů

Po získání časových řad cen jednotlivých akcií a sestavení akciového portfolia je spočítána hodnota portfolia pro všech 524 dní v minulosti. Poté jsou vyčísleny spojitě denní výnosy akcií. Z 524 denních kurzů je získáno 523 denních spojitých výnosů dle vzorce:

$$r = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}. \quad (4.1)$$

Výnosy akcií jsou počítány v amerických dolarech, nejsou převáděny na české koruny, a to převážně z důvodu možného zkreslení v rámci zaokrouhlování při převodu dolaru na českou měnu.

4.1.2 Test normality výnosů

Při výpočtu Value at Risk se většinou předpokládá, že výnosy finančních aktiv mají normální rozdělení, avšak ve skutečnosti tomu tak ale nebývá. Rozdělení skutečných výnosů mívá těžší konce než normální rozdělení, z tohoto důvodu pak dochází k podcenění skutečných rizik. Proto je rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií v portfoliu nejdříve otestováno.

K otestování rozdělení pravděpodobnosti je využit program IBM SPSS Statistics 22, posouzení pravděpodobnostního rozdělení proběhlo prostřednictvím grafických testů, konkrétně histogramů a grafů Q-Q plot. V rámci histogramu je rozložení dané akcie porovnáváno s normálním rozložením a v rámci Q-Q plotu pak se zvoleným rozložením. Následující tabulka 4.2 obsahuje popisné statistiky časových řad výnosů jednotlivých akcií a portfolia. Jedná se o data týkající se střední hodnoty, směrodatné odchylky, špičatosti a šikmosti.

Tab. 4.2: Popisné statistiky časových řad akciových výnosů a portfolia

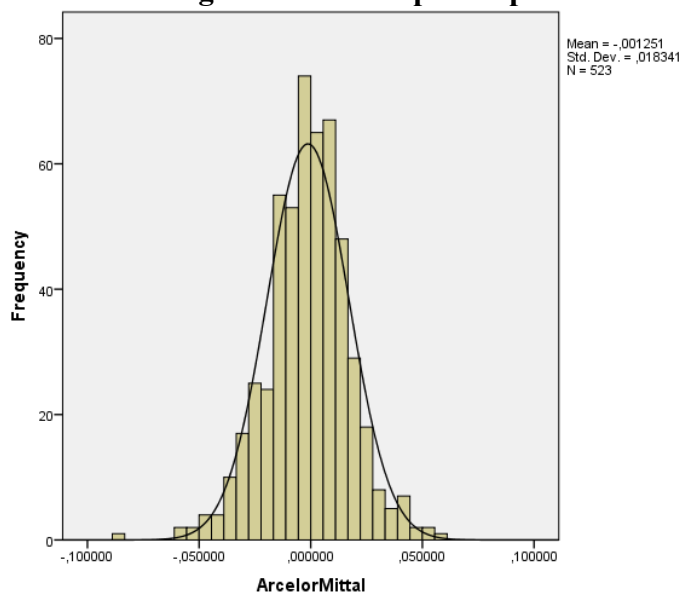
Aktivum	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	Špičatost	Šikmost
A1	-0,0012507	0,0183413	1,1426298	-0,2329219
A2	-0,0010773	0,0147030	1,9872779	-0,1785446
A3	0,0000464	0,0094925	2,1021575	-0,3867895
A4	0,0004557	0,0119488	1,0274102	-0,1754985
A5	0,0002703	0,0095376	6,2212370	-0,4110882
A6	0,0002815	0,0151579	1,0672388	-0,2020838
A7	0,0010238	0,0138884	12,9138904	-0,9292339
A8	-0,0000884	0,0093990	1,5916656	-0,4709675
A9	0,0001322	0,0099255	1,3876491	-0,1788632
A10	0,0004695	0,0082358	3,1374435	0,1265656
Portfolio	0,0001101	0,0073242	1,1195779	-0,3135031

Zdroj: Vlastní zpracování

Dle tabulky 4.2 je zřejmé, že střední hodnota a směrodatná odchylka výnosů se pohybují kolem nuly. Míry šikmosti poukazují na asymetrické rozdělení výnosů, a to levostranné, tedy mimo akcii A10 (Wal-Mart Stores Inc.), v jejímž případě není hodnota kladná, ale záporná. Na základě tabulky 4.2 lze také pozorovat, že špičatost výnosů akcií i portfolia je o poznání vyšší, než je charakteristické pro normální rozdělení (hodnota by měla být nulová), pro akcii A7 (Microsoft Corp.) by se dala tato hodnota označit za extrémní v porovnání se zbylými akciovými tituly v portfoliu. Ve výsledku lze na základě tabulky 4.2 usuzovat, že výnosy akcií i portfolia jako celku budou mít podobné rozdělení pravděpodobnosti, avšak nebude to rozdělení normální. Pravděpodobnostní rozdělení výnosů jednotlivých akcií vyobrazují následující histogramy a posléze QQ ploty.

Dle grafu 4.2 lze konstatovat, že výnosy akcií společnosti ArcelorMittal nemají normální rozdělení. Od normálního rozdělení se liší vyšší špičkou, a navíc jsou mírně negativně zešikmené.

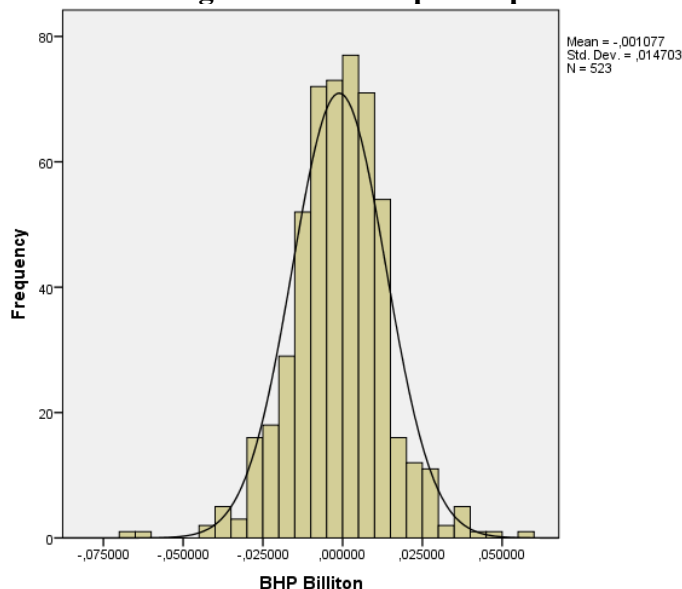
Graf 4.2: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií ArcelorMittal



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 4.3 vyobrazuje histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií společnosti BHP Billiton. Stejně jako v předchozím případě je možné říci, že výnosy nemají normální rozdělení. Liší se vyšší špičkou a mírným pozitivním zešikmením.

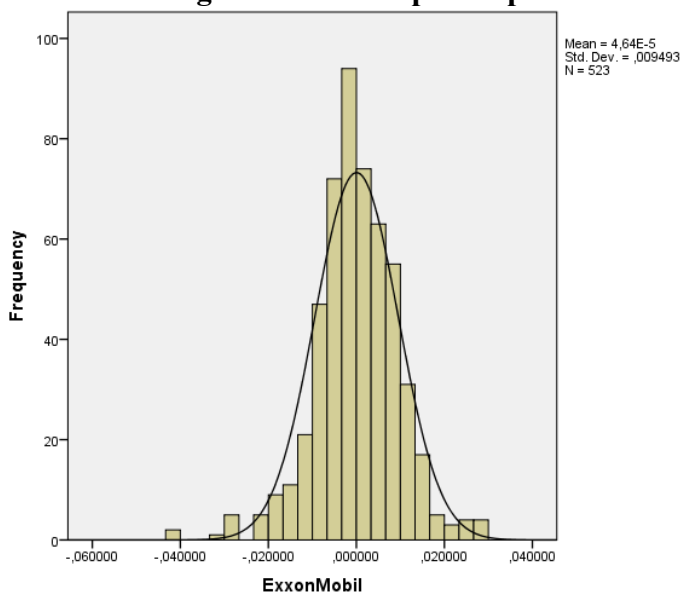
Graf 4.3: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií BHP Billiton



Zdroj: Vlastní zpracování

Rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Exxon Mobil je dle grafu 4.4 také jiné než normální. Opětovně výnosy mají vyšší špičku, než je charakteristická pro normální rozdělení, a jsou mírně negativně zešikmené.

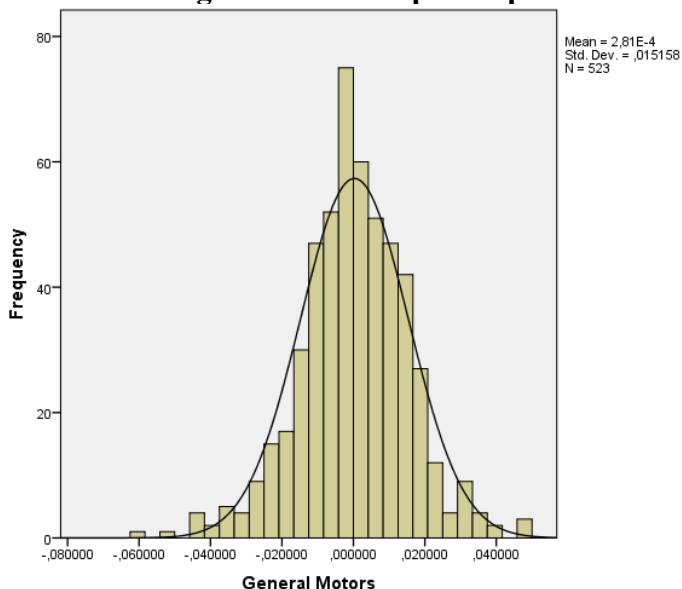
Graf 4.4: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií ExxonMobil



Zdroj: Vlastní zpracování

Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií General Motors opětovně poukazuje na jiné než normální rozdělení, neboť výnosy mají vyšší špičku a jsou mírně negativně zešikmené.

Graf 4.5: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií General Motors

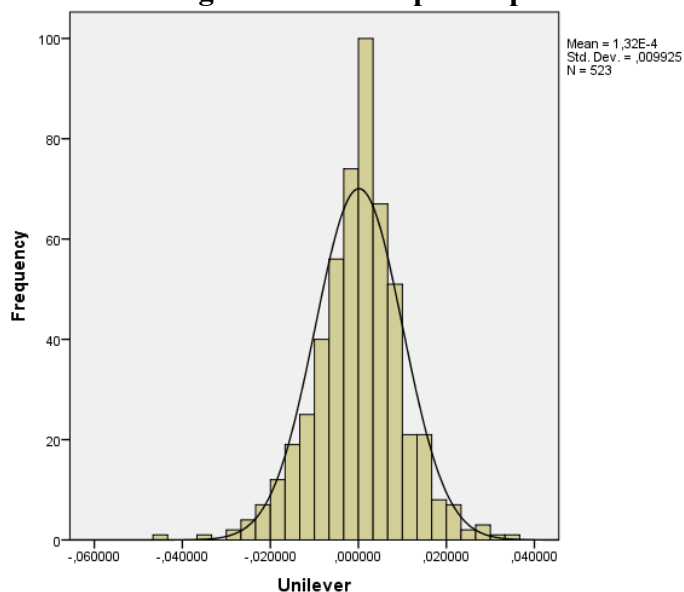


Zdroj: Vlastní zpracování

Výnosy akcií Unilever mají také jiné než normální rozdělení pravděpodobnosti, jak potvrzuje níže uvedený histogram znázorněný v grafu 4.6. Jako v předchozích případech

jsou i tyto akciové výnosy charakteristické vyšší špičkou než má normální rozdělení a jsou mírně pozitivně zešikmené

Graf 4.6: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Unilever

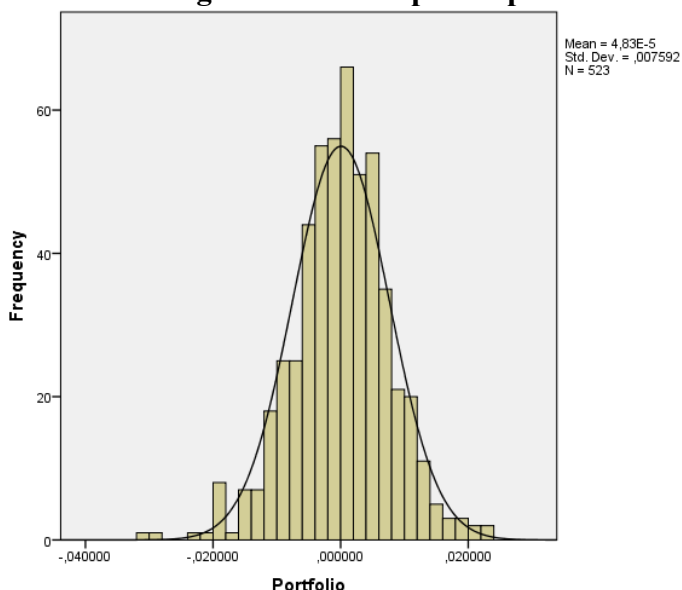


Zdroj: Vlastní zpracování

Vzhledem ke skutečnosti, že histogramy zbývajících akciových titulů obsažených v portfoliu vypadají vesměs stejně jako výše uvedené, jsou tyto grafy součástí Přílohy č. 2a), níže je ještě uveden histogram portfolia jako celku.

Opětovně lze dle grafu 4.7 konstatovat, že pravděpodobnostní rozdělení je jiné než normální. Výnosy mají vyšší špičku a jsou mírně negativně zešikmené.

Graf 4.7: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů portfolia



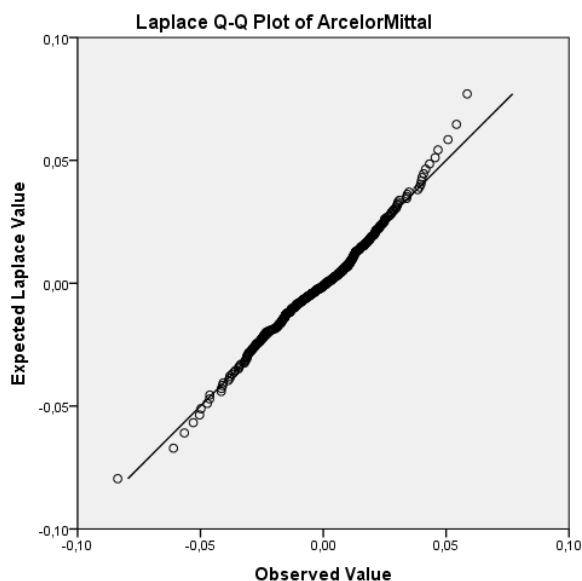
Zdroj: Vlastní zpracování

Dále je při testování rozložení pravděpodobnosti akciových výnosů využito Q-Q testu, konkrétně grafů Q-Q, které jsou vytvořeny, stejně jako dříve uvedené histogramy, prostřednictvím programu IBM SPSS Statistics 22. Pomocí tohoto programu jsou vypočteny a graficky znázorněny dosažené výsledky.

Bylo zjištěno, že pravděpodobnostní rozdělení výnosů akcií, stejně jako celého portfolia, nejvíce odpovídá Laplaceovu rozložení pravděpodobnosti. Q-Q ploty využívají k porovnání teoretické (přímka) a naměřené kvantily pravděpodobnostního rozdělení. Ideální situace nastává, když se teoretické a empirické kvantily rovnají – hodnoty leží na přímce.

Na základě grafu 4.8, jež porovnává teoretické Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti a naměřené hodnoty výnosů akcií ArcelorMittal, lze usoudit, že pravděpodobnostní rozložení výnosů se opravdu nejvíce přibližuje Laplaceovu rozložení, i přesto, že ne všechny naměřené hodnoty leží na přímce. Lze také pozorovat několik odlehlých hodnot.

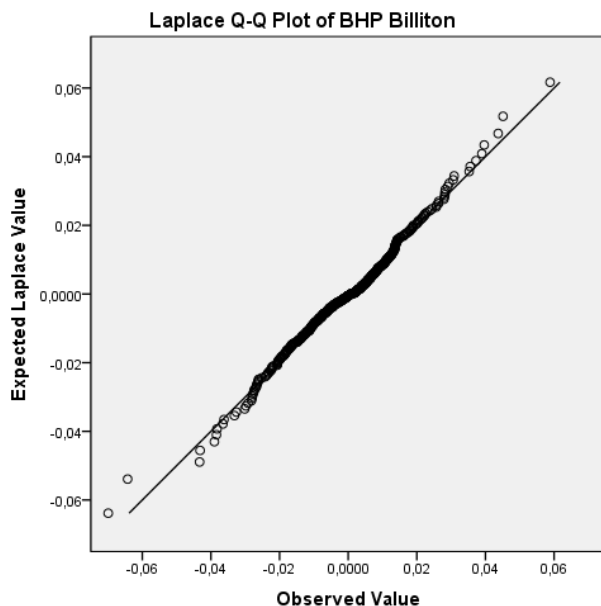
Graf 4.8: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií ArcelorMittal



Zdroj: Vlastní zpracování

Výnosy akcií BHP Billiton odpovídají také dle Q-Q plotu, jež je zobrazen v grafu 4.9, nejvíce Laplaceovu rozdělení pravděpodobnosti výnosů, reálná pozorování leží téměř přesně na teoretické přímce. I zde je možné pozorovat několik odlehklých hodnot.

Graf 4.9: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií BHP Billiton

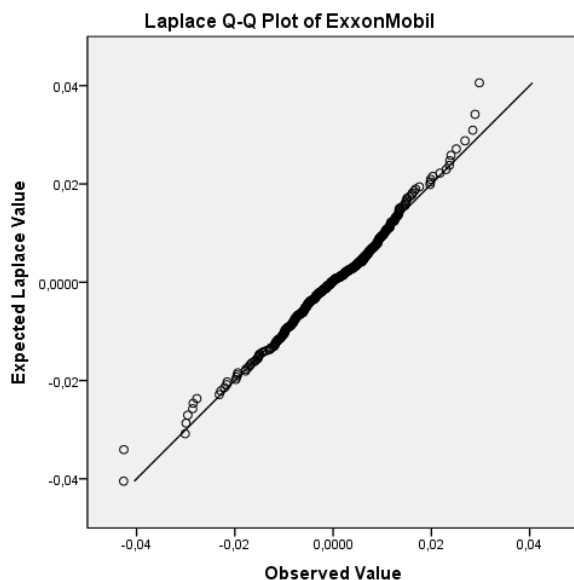


Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 4.10 dokazuje, že rozložení výnosů akcií Exxon Mobil vykazuje shodu s teoretickým rozdělením, proto lze konstatovat, že pravděpodobnostní rozložení i těchto

výnosů nejvíce odpovídá Laplaceovu rozdělení pravděpodobnosti. Obdobně jako v předchozích případech, i zde se nachází několik málo odlehlých hodnot.

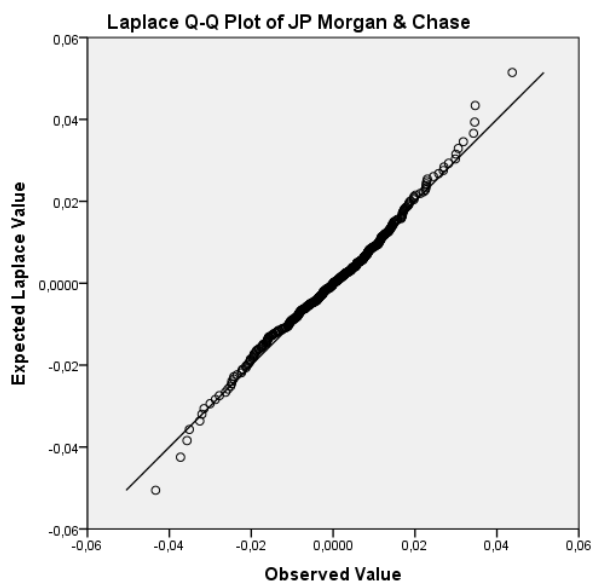
Graf 4.10: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Exxon Mobil



Zdroj: Vlastní zpracování

V grafu 4.11 je vyobrazen Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti akcií JP Morgan Chase & Co. Většina pozorování leží přímo na přímce teoretického rozdělení, proto je možné konstatovat, že pravděpodobnostní rozložení výnosů opětovně nejvíce odpovídá Laplaceov rozdělení pravděpodobnosti, a jak je uvedeno v grafu, i zde lze spatřit několik odlehlých hodnot.

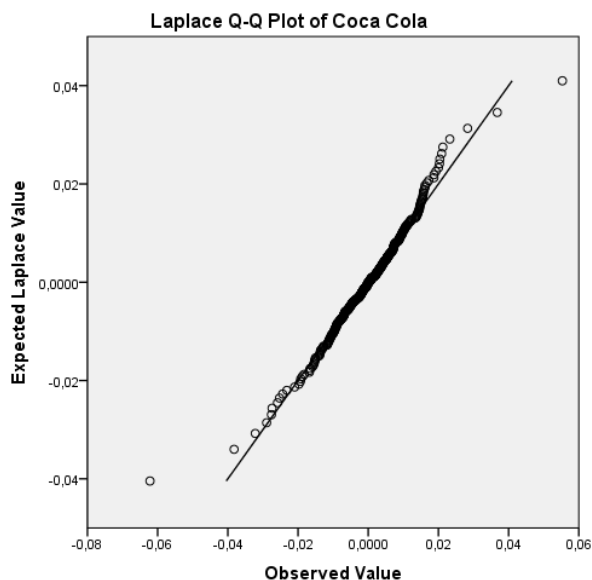
Graf 4.11: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií JP Morgan Chase & Co.



Zdroj: Vlastní zpracování

Výnosy akcií Coca-Cola se dle grafu 4.12 nejméně blíží teoretické přímce Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti ze všech testovaných výnosů. Avšak i přesto většina pozorování leží na této přímce, proto lze usuzovat, že rozdělení i těchto výnosů je možné označit za přibližující se Laplaceovu rozdělení. Opětovně i tyto výnosy vykazují odlehlé hodnoty.

Graf 4.12: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Coca-Cola

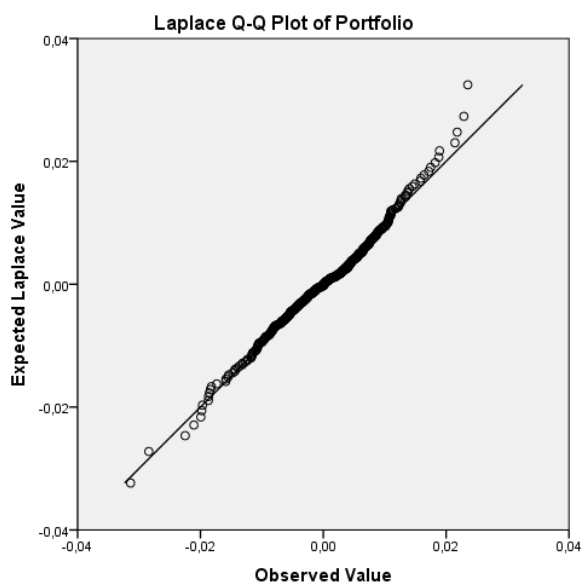


Zdroj: Vlastní zpracování

Q-Q ploty zbývajících akciových výnosů tvořící portfolio vypadají obdobně jako výše prezentované grafy, z toho důvodu jsou obsahem Přílohy č. 2b).

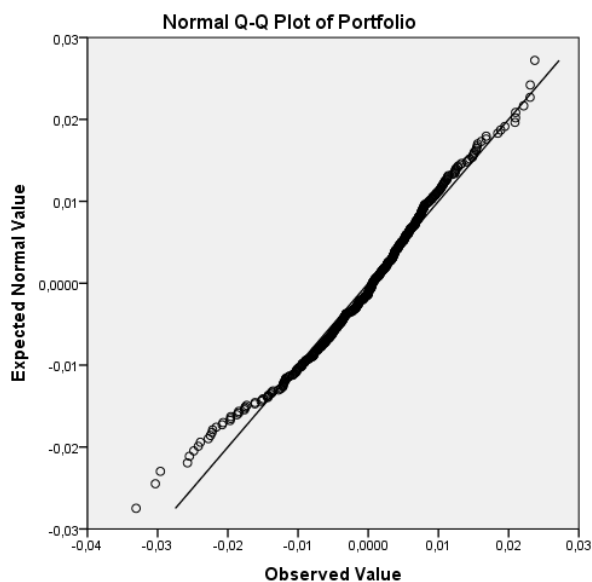
Graf 4.13 vyobrazuje Q-Q plot portfolia jako celku pro Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti. Graf 4.14 pak pro normální rozdělení. Na základě těchto grafů lze konstatovat, že výnosy portfolia lépe odpovídají Laplaceovu rozdělení pravděpodobnosti, neboť se blíží více teoretické přímce tohoto rozložení. Výnosy portfolia, stejně jako akcie v něm obsažené, vykazují několik odlehklých hodnot.

Graf 4.13: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů portfolia – Laplaceovo rozdělení



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf 4.14: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů portfolia – normální rozdělení



Zdroj: Vlastní zpracování

Na základě výše uvedených histogramů a Q-Q plotů, je dále v práci usuzováno, že pravděpodobnostní rozdělení výnosů portfolia se nejvíce blíží Laplaceovu rozdělení pravděpodobnosti.

4.2 Odhad volatility výnosů pomocí modelů EWMA

Klíčovým faktorem pro výpočet Value at Risk je správné stanovení směrodatné odchylky jednotlivých aktiv a portfolia. Vzhledem k tomu, že portfolio nevykazuje normální pravděpodobnostní rozdělení výnosů, je místo standardního modelu EWMA (exponenciálně váženého klouzavého průměru), který by byl neefektivní v tom smyslu, že by přikládal zbytečnou váhu extrémním výnosům, využito pro výpočet VaR portfolia s Laplaceho rozdělením pravděpodobnosti Robust-EWMA modelu, jež představili ve své práci Guermat a Harris (2000).

4.2.1 Výpočet volatility – Robust-EWMA

Robust-EWMA model využívá stejně jako jeho standardní verze pro predikci informace z historických časových řad výnosů, avšak je funkcí absolutních hodnot výnosů namísto jejich mocnin. Jednotlivé výnosy u každého z aktiv i portfolia byly již zjištěny. Dalším postupem při výpočtu je tedy dosadit je do vzorce:

$$\sigma_{t+1}^2 = \left\{ \lambda \sigma_t + (1 - \lambda) \sqrt{2} |z_t| \right\}^2, \quad (3.18)$$

kde σ_{t+1}^2 je predikovaný rozptyl pro čas $t+1$, λ je tlumicí faktor a z_t je dosažený výnos v čase t .

Prvním krokem je zjištění $|z_t|$, jež vzniká převedením výnosů do absolutních hodnot. Dalším krokem je pak stanovení první hodnoty σ_{t+1}^2 z historické časové řady, která je zjištěna jako střední hodnota druhé mocniny výnosů z_t . Jedná se tedy o hodnotu, která odpovídá prvnímu výnosu, konkrétně tedy výnosu rozmezí dní 2. 1. 2013 a 3. 1. 2013. Další hodnoty časové řady již jsou vypočteny dle (3.18).

Následuje stanovení q_t dle (3.16), tedy jako rozdíl druhé mocniny výnosů a modelem odhadnutých historických rozptylů. Tato veličina pak je základem kritéria RMSE, jenž v tomto případě slouží jako účelová funkce, která jde do minima pro rovnici, jejíž měněnou buňkou, a současně ale i hledaným výsledkem, je hodnota tlumicího faktoru λ . Tlumicí faktor musí ležet v rozmezí 0 a 1, ale může taky nabývat těchto hodnot.

Pro akcie příslušného portfolia a portfolio samotné jsou hodnoty λ stanoveny pomocí Řešitele MS Excel. Výsledné hodnoty jsou tedy získány s využitím rovnice (3.18) v čase t , což odpovídá datu 23. 1. 2015. Příslušné tlumicí faktory λ obsahuje tabulka 4.3, ve které jsou také uvedeny hodnoty směrodatné odchylky, jenž vznikly odmocněním hodnot rozptylu. Rovná-li se tlumicí faktor jedné, tedy $\lambda = 1$, je rozptyl daného aktiva v čase stálý, jedná se o homoskedasticitu. Jak je z tabulky 4.3 patrné, tato situace nastala pouze u dvou aktiv, a to A7 (Microsoft Corp.) a A8 (Philip Morris Int.), volatilita těchto aktiv je tedy konstantní. Pro ostatní aktiva platí, že hodnota tlumicího faktoru λ se blíží jedné, volatilitu lze je tedy označit za relativně konstantní.

Tab. 4.3: Hodnoty faktoru λ , plánovaného rozptylu a směrodatné odchylky k 24. 1. 2015

Označení	Název	Tlumicí faktor (λ)	Rozptyl (σ^2)	Směrodatná odchylka (σ)
A1	ArcelorMittal	0,979155	0,000490	0,022128
A2	BHP Billiton	0,973878	0,000422	0,020553
A3	Exxon Mobil	0,972873	0,000205	0,014335
A4	JP Morgan Chase & Co.	0,969483	0,000269	0,016387
A5	Coca-Cola	0,950584	0,000114	0,010696
A6	General Motors	0,975405	0,000329	0,018125
A7	Microsoft Corp.	1,000000	0,000182	0,013487
A8	Philip Morris Int.	1,000000	0,000104	0,010197
A9	Unilever	0,992796	0,000113	0,010639
A10	Wal-Mart Stores Inc.	0,975043	0,000141	0,011857
P	Portfolio	0,969171	0,000116	0,010790

Zdroj: Vlastní zpracování

Odhadnuté směrodatné odchylky aktiv i celého portfolia jsou relativně nízké, z čehož lze usuzovat, že riziko tedy není příliš vysoké. Ceny akcií je možné označit za relativně stabilní, málo ovlivňované velkými výkyvy ve vývoji cen na trhu. Odhadnutá směrodatná odchylka portfolia dle robustního EWMA modelu dosahuje hodnoty 0,010790.

4.2.2 Výpočet volatility - Standard-EWMA

Jak již bylo zmíněno, Standard-EWMA model pro predikci využívá informace z historických časových řad výnosů. Výnosy již byly zjištěny, dalším krokem je tedy výpočet parametrů, které je nutné dosadit do vzorce:

$$\sigma_{t+1,t}^2 = (1 - \lambda) \cdot r_t^2 + \lambda \cdot \sigma_{t,t-1}^2 \quad (3.15)$$

kde r_t^2 je skutečný rozptyl a $\sigma_{t+1,t}^2$ je rozptyl predikovaný, v tomto případě predikovaný v čase t pro čas $t+1$.

Prvním krokem je zjištění r_t^2 , které je získáno umocněním historických výnosů. Dále je stanovena první hodnota $\sigma_{t+1,t}^2$, a to z historické časové řady, jež je zjištěna jako střední hodnota druhé mocniny výnosů r_t^2 . Jedná se tedy o hodnotu, která odpovídá prvnímu výnosu, a to mezi dny 2. 1. 2013 a 3. 1. 2013. Dále jsou hodnoty časové řady zjištěny již dle (3.15).

Obdobně jako u předchozího Robust-EWMA modelu následuje stanovení q_t , a to dle (3.16), tedy jako rozdíl druhé mocniny výnosů a odhadnutých historických rozptylů pomocí modelu. Základem kritéria RMSE je právě tato veličina, kritérium RMSE je využito jako účelová funkce jdoucí do minima pro rovnici, jejíž měněnou, a zároveň i hledanou buňkou, je hodnota tlumicího faktoru λ . Opětovně platí, že tlumicí faktor se musí nacházet v rozmezí 0 a 1, a zároveň může nabývat i každé z těchto dvou hodnot.

Pro akcie portfolia, jakožto i portfolio jako celku jsou hodnoty tlumicího faktoru λ stanoveny pomocí řešitele MS Excel. Využitím (3.15) jsou vypočteny hodnoty v čase t , jenž odpovídá datu 23. 1. 2015. Jednotlivé tlumicí faktory λ , rozptyly a směrodatné odchylky příslušných akcií a portfolia obsahuje tabulka 4.4. Za předpokladu, že se tlumicí faktor λ rovná jedné, tedy $\lambda = 1$, je rozptyl daného aktiva v čase stálý, jedná se o homoskedasticitu. Tato situace nastává pouze u jednoho aktiva, jak je z tabulky 4.4 patrné, stejně jako v předchozím modelu Robust-EWMA, a to u aktiva A7 (Microsoft Corp.), volatilita tohoto aktiva je tedy konstantní v čase. Pro ostatní aktiva, jakož i portfolio, platí, že hodnota tlumicího faktoru λ se blíží jedné, volatilita zbývajících aktiv a portfolia jako celku lze tedy označit za relativně konstantní.

Tab. 4.4: Hodnoty faktoru λ , plánovaného rozptylu a směrodatné odchylky k 24. 1. 2015

Označení	Akcie	Tlumící faktor (λ)	Rozptyl (σ^2)	Směrodatná odchylka (σ)
A1	ArcelorMittal	0,970963	0,000414	0,020335
A2	BHP Billiton	0,969781	0,000332	0,018226
A3	Exxon Mobil	0,962197	0,000190	0,013781
A4	JP Morgan Chase & Co.	0,960811	0,000270	0,016437
A5	Coca-Cola	0,978387	0,000109	0,010416
A6	General Motors	0,966751	0,000267	0,016351
A7	Microsoft Corp.	1,000000	0,000182	0,013487
A8	Philip Morris Int.	0,996202	0,000086	0,009257
A9	Unilever	0,989874	0,000102	0,010122
A10	Wal-Mart Stores Inc.	0,975696	0,000138	0,011744
P	Portfolio	0,955044	0,000105	0,010257

Zdroj: Vlastní zpracování

Odhadnuté směrodatné odchylky aktiv, jakož i portfolia, jsou relativně nízké, proto by tedy riziko nemělo být příliš vysoké. Vývoj cen akcií lze považovat tedy za relativně stabilní a nepříliš ovlivňován velkými výkyvy cen na trhu. Odhadnutá směrodatná odchylka portfolia dle standardního modelu EWMA dosahuje hodnoty 0,010257.

Při srovnání hodnoty směrodatné odchylky portfolia stanovené dle Robust-EWMA modelu a hodnoty získané pomocí Standard-EWMA modelu, je zjištěno, že odhadnutá směrodatná odchylka portfolia je dle prvního z modelů vyšší.

4.3 Výpočet Value at Risk pro stanovené portfolio

V této podkapitole bude určena hodnota Value at Risk portfolia akciových instrumentů, a to analyticky za předpokladu, že výnosy aktiv v portfoliu nejlépe odpovídají Laplaceovu rozdělení pravděpodobnosti. Posléze bude Value at Risk stanoveno také za předpokladu normálního rozdělení výnosů aktiv v portfoliu. Value at Risk bude nejprve určeno pro časový horizont jednoho dne a pro různé stupně spolehlivosti, poté bude výpočet modifikován.

Hodnota VaR představuje hodnotu ztráty na předem stanovené hladině pravděpodobnosti ve srovnání s počátečním stavem, tedy 23. 1. 2015.

4.3.1 Value at Risk pro Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti

Nyní je možné přejít k stanovení hodnoty Value at Risk. Hodnota Value at Risk portfolia akcií, jemuž nejlépe odpovídá Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti, je stanovena dle (3.29). Při výpočtu je využito odhadnuté směrodatné odchylky stanovené pomocí Robust-EWMA modelu. Vzhledem k tomu, že potřebné proměnné pro dosazení jsou již známy, dalším krokem po zjištění volatility je již přímo aplikace vzorce.

Jak již bylo řečeno, stanovená hodnota Value at Risk je jednodenní VaR na hladině významnosti 0,05. Dosazením do vzorce a následným vynásobením s původní hodnotou portfolia (100 063,10 \$) platnou k 23. 1. 2015, je získána hodnota Value at Risk ve výši 1 757,84 \$. S pravděpodobností 0,95 tedy nebude jednodenní ztráta portfolia větší než 1 757,84 \$. S ohledem na výši portfolia tvoří hodnota ztráty na hladině významnosti 0,05 více než jeden a půl procenta z jeho hodnoty, a to 1, 757 %.

Hodnotu VaR na zvolené hladině významnosti 0,05, ale také na hladinách významnosti 0,10; 0,01 a 0,001 zobrazuje tabulka 4.5.

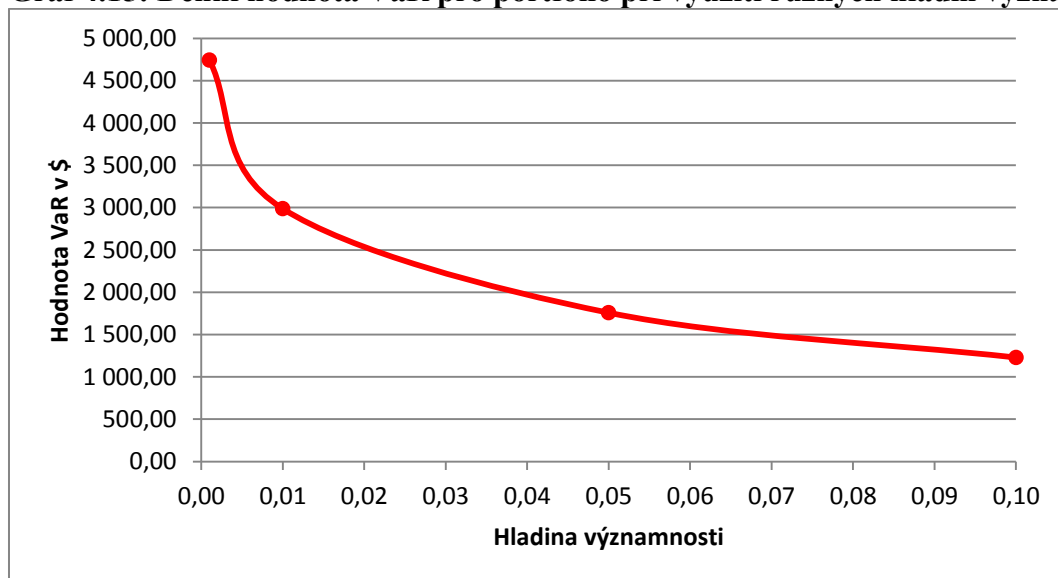
Tab. 4.5: Denní hodnota VaR při různé hladině významnosti

Hladina významnosti	0,10	0,05	0,01	0,001
Value at Risk k 24. 1. 2015 (\$)	1 228,68	1 757,84	2 986,52	4 744,35
Procento hodnoty portfolia	1,228	1,757	2,985	4,741

Zdroj: Vlastní zpracování

Dosažené hodnoty Value at Risk z tabulky 4.5 jsou vyneseny do následujícího grafu 4.15. Jak je v tomto grafu znázorněno, hodnota VaR s rostoucí pravděpodobností nepřekročení této ztráty roste. Se spolehlivostí 0,999 nepřekročí ztráta za jeden den hodnotu 4 744,35 \$, která představuje více než čtyři a půl procenta hodnoty portfolia, přesněji 4,741 % z hodnoty portfolia.

Graf 4.15: Denní hodnota VaR pro portfolio při využití různých hladin významnosti



Zdroj: Vlastní zpracování

Výpočet VaR je dále modifikován. Prvním typem modifikace je stanovení hodnoty týdenního portfolio VaR na hladinách významnosti 0,10; 0,05; 0,01 a 0,001. V rámci druhého typu modifikace je zjištěna hodnota denního Value at Risk na hladině významnosti 0,05 při postupném odstraňování akciových titulů z portfolio.

V rámci prvního typu modifikace výpočtu je na zvolené hladině významnosti 0,05 týdenní hodnota Value at Risk 2 887,65 \$. S ohledem na výši portfolio tato hodnota představuje 2,886 % jeho původní hodnoty (100 063,10 \$). Ztráta je tedy o více než tisíc dolarů vyšší oproti denní hodnotě Value at Risk.

Týdenní hodnoty Value at Risk pro Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti výnosů portfolio na stanovených hladinách významnosti obsahuje tabulka 4.6.

Tab. 4.6: Týdenní hodnota VaR při různé hladině významnosti

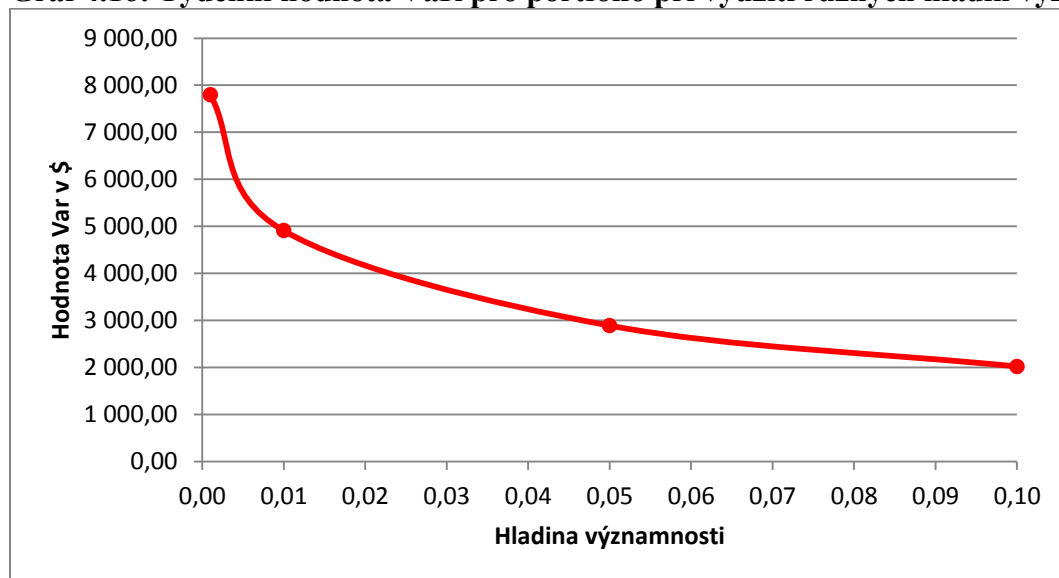
Hladina významnosti	0,10	0,05	0,01	0,001
Value at Risk k 24. 1. 2015 (\$)	2 018,38	2 887,65	4 906,03	7 793,68
Procento hodnoty portfolio	2,017	2,886	4,903	7,789

Zdroj: Vlastní zpracování

Dosažené hodnoty VaR z tabulky 4.6 jsou vyneseny do následujícího grafu 4.16. V grafu je znázorněno, že hodnota VaR s rostoucí pravděpodobností nepřekročení této

hodnoty ztráty roste, stejně jako v případě denního VaR. Se spolehlivostí 0,999 nepřekročí ztráta za jeden týden hodnotu 7 793,68 \$, ta představuje 7,789 % z hodnoty portfolia.

Graf 4.16: Týdenní hodnota VaR pro portfolio při využití různých hladin významnosti



Zdroj: Vlastní zpracování

Druhým typem modifikace je výpočet denního VaR na hladině významnosti 0,05 při postupném odstraňování jednotlivých akciových instrumentů z portfolia. A to v pořadí, v jakém byly do portfolia vkládány, tedy akcie A1 společnosti Arcelor Mittal jsou odstraněny jako první a akcie A10 společnosti Wal-Mart Stores Inc. jsou odstraněny jako poslední. Přitom do jednotlivých akciových titulů je investováno stejné množství finančních prostředků jako v případě původního portfolia. Smyslem je sledovat jaký vliv na hodnotu Value at Risk toto počínání má.

Za předpokladu, že by portfolio neobsahovalo akcie společnosti Exxon Mobil, dojde ke snížení hodnoty Value at Risk na zvolené hladině významnosti 0,05 na 1 101,16 \$, ztráta, kterou by tedy investor mohl utrpět za jeden obchodní den, je menší než u portfolia původního, a to téměř o 700 \$. Avšak je třeba vzít v úvahu, že se snížila i celková hodnota portfolia, proto je vhodné vztáhnout nově získanou hodnotu Value at Risk k nové hodnotě portfolia. A jak je z tabulky 4.7 patrné, došlo také ke snížení podílu hodnoty VaR na celkové hodnotě portfolia. Výsledky pro tento, i další příklady jsou uvedeny ve zmíněné tabulce.

Tab. 4.7: Hodnota denního VaR pro změny základního portfolia

Varianty	VaR (\$)	% z hodnoty portfolia
VaR základního portfolia	1 757,84	1,757
VaR portfolia bez akcií ArcelorMittal	1 733,08	1,748
VaR portfolia bez akcií BHP Billiton	1 482,20	1,697
VaR portfolia bez akcií ExxonMobil	1 101,16	1,613
VaR portfolia bez akcií JP Morgan Chase & Co.	1 573,25	1,708
VaR portfolia bez akcií Coca-Cola	1 574,84	1,903
VaR portfolia bez akcií General Motors	2 341,09	2,372
VaR portfolia bez akcií Microsoft Corp.	1 565,76	1,793
VaR portfolia bez akcií Philip Morris Int.	1 709,27	1,797
VaR portfolia bez akcií Unilever	1 726,96	1,816
VaR portfolia bez akcií Wal-Mart Stores Inc.	1 717,72	1,813

Zdroj: Vlastní zpracování

Variantu, ve které jsou z portfolia odstraněny akcie společnosti General Motors, lze označit za nejvíce rizikovou, neboť se hodnota Value at Risk při zachování původních investic znatelně zvýší oproti VaR původního portfolia, a to na 2 341,09 \$. Dochází také k nárůstu procentuálního podílu VaR na celkové hodnotě portfolia, konkrétně na 2,372 %, investor by tedy ztratil větší procento z investované částky, což je nežádoucí.

4.3.2 Value at Risk pro normální rozdělení pravděpodobnosti

Stanovení hodnoty Value at Risk portfolia akcií za předpokladu normálního rozdělení výnosů, je dosaženo pomocí (3.28). Zjištěná hodnota Value at Risk je jednodenní VaR na hladině významnosti 0,05. Při výpočtu je brána v úvahu odhadnutá směrodatná odchylka, která byla stanovena dle Standard-EWMA modelu a střední hodnota výnosu aktiv je uvažována jako nulová. Dosazením do vzorce a následným vynásobením s původní hodnotou portfolia (100 063,10 \$) platnou k 23. 1. 2015, je dosažena hodnota 1 688,26 \$. S ohledem na výši portfolia tedy tvoří hodnota ztráty na hladině významnosti 0,05 o něco málo více než jeden a půl procenta z hodnoty portfolia, přesněji 1,687 %.

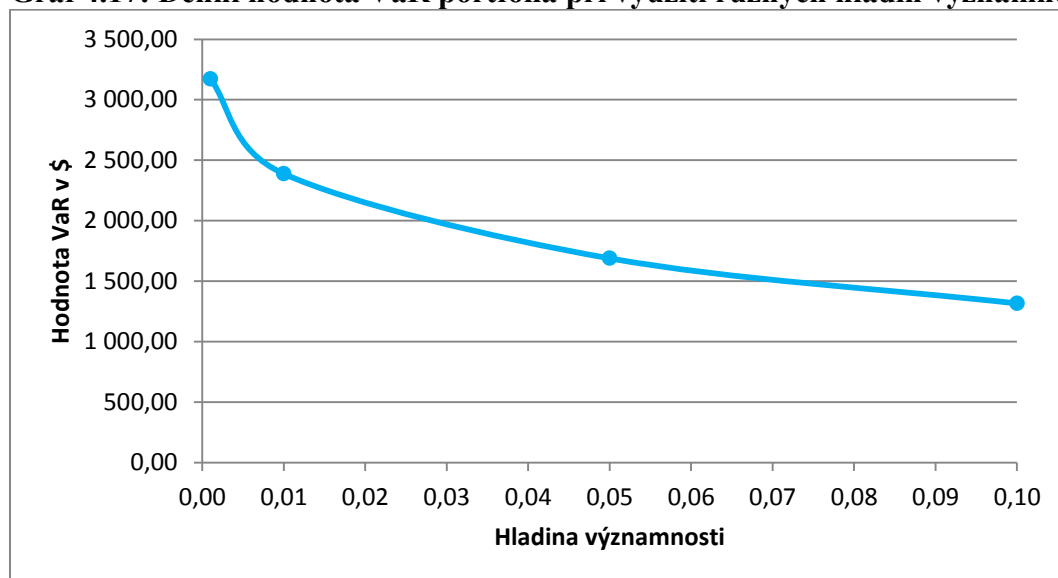
Hodnotu Value at Risk na zvolené hladině významnosti, a také na hladinách 0,10; 0,01 a 0,001 obsahuje tabulka 4.8.

Tab. 4.8: Denní hodnota VaR při různé hladině významnosti

Hladina významnosti	0,100	0,050	0,010	0,001
Value at Risk k 24. 1. 2015 (\$)	1 315,37	1 688,26	2 387,74	3 171,78
Procento hodnoty portfolia	1,315	1,687	2,386	3,170

Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnoty z tabulky 4.8 jsou vyneseny do následujícího grafu 4.17. Jak je v tomto grafu znázorněno, hodnota Value at Risk s rostoucí pravděpodobností nepřekročení této hodnoty ztráty roste. Se spolehlivostí 0,999 nepřekročí ztráta za jeden den hodnotu 3 171,78 \$, ta představuje více než tři procenta z původní hodnoty portfolia (100 063,10 \$), přesněji 3,170 % z hodnoty portfolia platné k 23. 1. 2015.

Graf 4.17: Denní hodnota VaR portfolia při využití různých hladin významnosti

Zdroj: Vlastní zpracování

Stejně jako při výpočtu VaR pro Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti výnosů je i výpočet VaR za předpokladu normálního rozložení pravděpodobnosti výnosů dále modifikován. Nejdříve je stanovena týdenní hodnota Value at Risk portfolia na hladinách významnosti 0,10; 0,05; 0,01 a 0,001, dále pak je zjištěna denní hodnota VaR na hladině významnosti 0,05 při postupném odstraňování akciových titulů z portfolia.

Týdenní VaR za předpokladu normálního rozdělení pravděpodobnosti je na zvolené hladině významnosti 0,05 ve výši 3 279,03 \$. S ohledem na výši portfolia tato hodnota představuje 3,277 % z jeho původní hodnoty (100 063,10 \$). Ztráta je tedy o více než 1 500 \$ vyšší oproti denní hodnotě Value at Risk.

Informace o týdenních hodnotách VaR za předpokladu normálního rozdělení pravděpodobnosti portfolia na stanovených hladinách významnosti obsahuje tabulka 4.9.

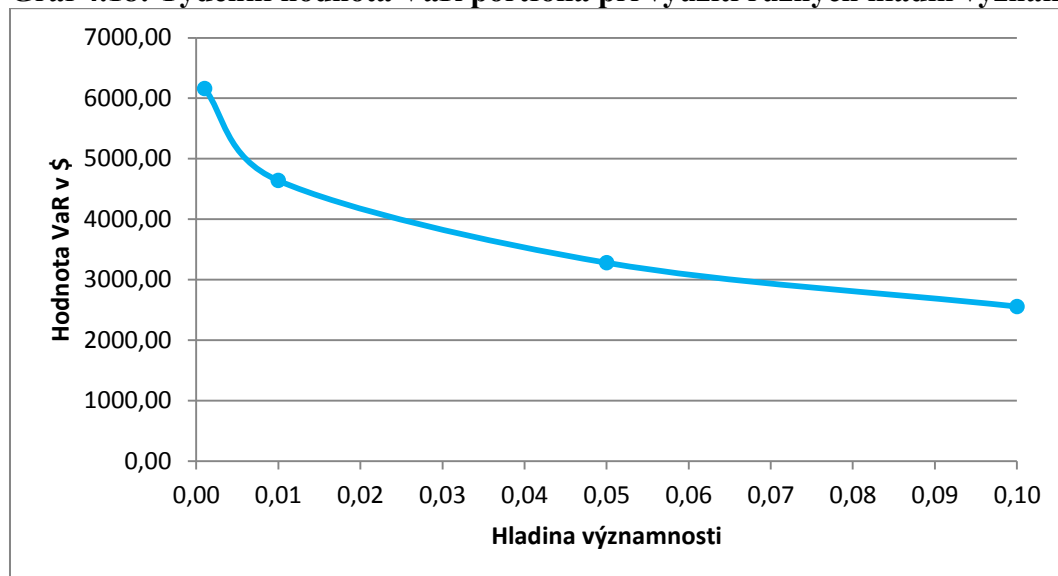
Tab. 4.9: Týdenní hodnota VaR při různé hladině významnosti

Hladina významnosti	0,10	0,05	0,01	0,001
Value at Risk k 24. 1. 2015 (\$)	2554,78	3279,03	4637,59	6160,40
Procento hodnoty portfolia	2,553	3,277	4,635	6,157

Zdroj: Vlastní zpracování

V grafu 4.18 jsou znázorněny hodnoty z tabulky 4.9. Z tohoto grafu je zřejmé, že týdenní hodnota VaR s rostoucí pravděpodobností nepřekročení této hodnoty ztráty roste, stejně jako v případě denního VaR. Se spolehlivostí 0,999 nepřekročí ztráta za jeden týden hodnotu 6 160,40 \$, což představuje 6,157 % z původní hodnoty portfolia.

Graf 4.18: Týdenní hodnota VaR portfolia při využití různých hladin významnosti



Zdroj: Vlastní zpracování

Nyní je přistoupeno k druhé variantě modifikace výpočtu. Denní hodnota VaR s normálním rozdělením pravděpodobnosti výnosů na hladině významnosti 0,05 je zjišťována za předpokladu postupného odstraňování jednotlivých akciových titulů z portfolia. Opětovně jsou odstraňovány akcie v pořadí, v jakém byly do portfolia vkládány a předpokládá se stejné množství finančních prostředků investovaných do jednotlivých akciových titulů jako v případě původního portfolia.

Z tabulky 4.10 lze vypořádat, že nejvyšší hodnotu denního VaR vykazuje původní portfolio, tedy, není-li měněno jeho složení, a to 1 688,26 \$. Avšak vzhledem k tomu, že při odebírání jednotlivých akcií docházelo ke změnám celkové hodnoty portfolio, je třeba vztáhnout dosažené výsledky k nové hodnotě portfolio. Nejvyšší procentuální podíl hodnoty VaR není zjištěn pro zmíněné původní portfolio, nýbrž pro to, které neobsahuje akcie společnosti Coca-Cola, a to ve výši 1,837 %. Výsledky pro jednotlivé varianty obsahuje zmíněná tabulka 4.10.

Tab. 4.10: Hodnota denního VaR pro změny základního portfolio

Varianty	VaR (\$)	% z hodnoty portfolio
VaR základního portfolio	1 688,26	1,687
VaR portfolio bez akcií Arcelor Mittal	1 664,74	1,679
VaR portfolio bez akcií BHP Billiton	1 419,67	1,626
VaR portfolio bez akcií Exxon Mobil	1 045,39	1,532
VaR portfolio bez akcií JP Morgan Chase & Co.	1 508,46	1,637
VaR portfolio bez akcií Coca-Cola	1 520,05	1,837
VaR portfolio bez akcií General Motors	1 667,04	1,689
VaR portfolio bez akcií Microsoft Corp.	1 485,58	1,701
VaR portfolio bez akcií Philip Morris Int.	1 651,61	1,737
VaR portfolio bez akcií Unilever	1 647,82	1,733
VaR portfolio bez akcií Wal-Mart Stores Inc.	1 644,58	1,736

Zdroj: Vlastní zpracování

Variantu, ve které jsou z portfolio vyňaty akciové tituly společnosti Exxon Mobil, lze označit za nejméně rizikovou. Neboť nejen, že dochází k poklesu denní hodnoty Value at Risk na 1 045,39 \$, což je o více než 600 dolarů méně oproti VaR původního portfolio, ale také došlo ke snížení procentuálního podílu VaR na celkové hodnotě portfolio, a to na 1,532 %. Pro potenciálního investora je tedy tato varianta přijatelnější než varianta původní.

4.3.3 Porovnání výsledků a shrnutí

Nyní je možné porovnat výsledky stanovení Value at Risk za předpokladu Laplaceova a normálního rozdělení pravděpodobnosti výnosů portfolio akcií. Tyto výsledky jsou shrnuty v následujících tabulkách a grafech.

Výsledky denního Value at Risk pro různé hladiny spolehlivosti pro Laplaceovo i normální rozdělení pravděpodobnosti jsou shrnuty v tabulce 4.11. Tabulka obsahuje také informace o rozdílech mezi vypočtenými hodnotami VaR na příslušných hladinách významnosti.

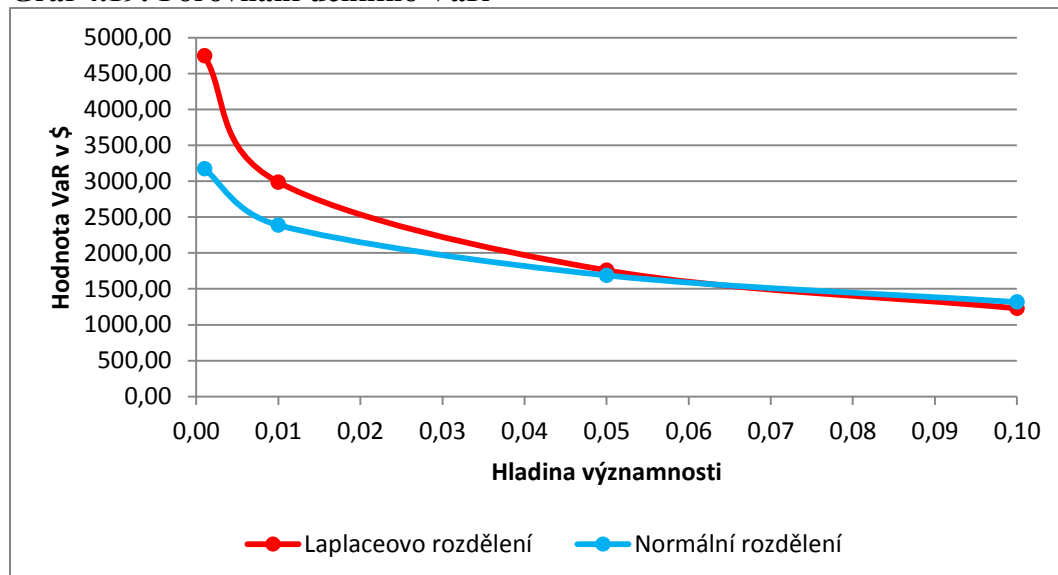
Tab. 4.11: Shrnutí výsledků denního VaR

Hladina významnosti	0,10	0,05	0,01	0,001
Laplaceovo rozdělení (\$)	1 228,68	1 757,84	2 986,52	4 744,35
Normální rozdělení (\$)	1 315,37	1 688,26	2 387,74	3 171,78
Rozdíl (\$)	-86,69	69,58	598,78	1 572,58

Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnoty z tabulky 4.11 jsou graficky vyjádřeny v následujícím grafu 4.19.

Graf 4.19: Porovnání denního VaR



Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky 4.11 je zřejmé, že na hladině významnosti 0,10 je pro normální rozdělení zjištěná denní hodnota VaR vyšší než pro rozdělení Laplaceovo, a to o 86,69 \$. Graf 4.19 pak dokazuje, že se se snižující se hladinou významnosti role obrací. Je možné určit průsečík obou grafů, a to jako řešení optimalizační úlohy, kde účelovou funkcí bude minimalizace absolutní hodnoty rozdílu VaR s Laplaceovo rozdělením a VaR s normálním rozdělením. Omezující podmínkou přitom je, aby $0 < \alpha < 1$. Výsledkem je, že denní hodnoty VaR jsou shodné ve výši 1 546,28 \$ pro hladinu významnosti $\alpha = 0,06597$. Se snižující se hladinou významnosti od tohoto bodu začínají denní hodnoty Value at Risk vypočtené

pomocí Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti převyšovat denní hodnoty Value at Risk za předpokladu normálního rozdělení. Od tohoto průsečíku se zvyšuje rozdíl mezi hodnotami vypočtených pomocí obou metod.

Zjištěné hodnoty týdenního Value at Risk pro různé hladiny spolehlivosti pro Laplaceovo i normální rozdělení pravděpodobnosti jsou shrnuty v tabulce 4.12. V této tabulce je také možné nalézt informace o rozdílech mezi vypočtenými hodnotami VaR na příslušných hladinách významnosti. Hodnoty z tabulky 4.12 jsou znázorněny v grafu 4.20.

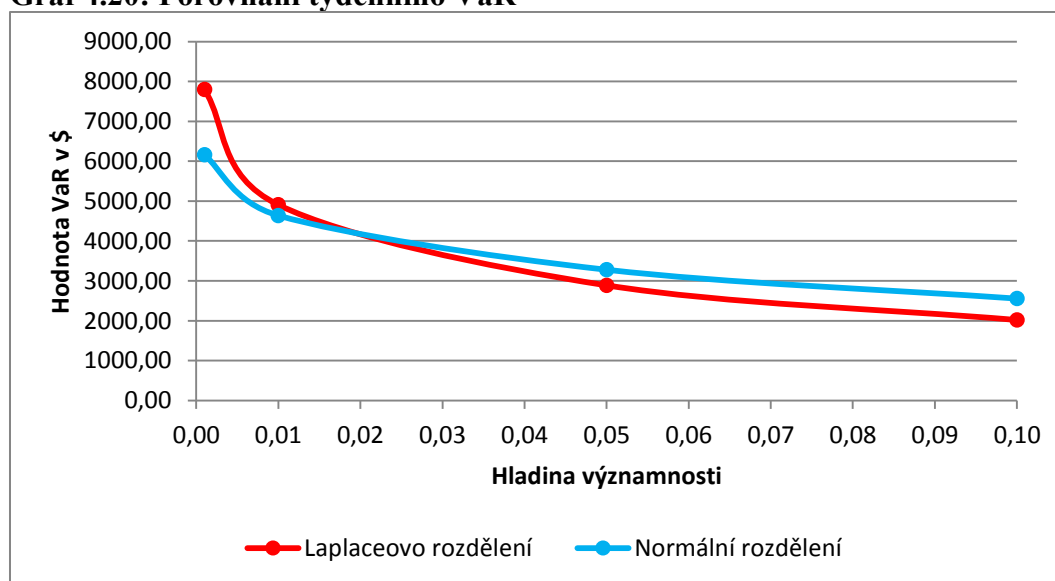
Tab. 4.12: Shrnutí výsledků týdenního VaR

Hladina významnosti	0,10	0,05	0,01	0,001
Laplaceovo rozdělení (\$)	2 018,38	2 887,65	4 906,03	7 793,68
Normální rozdělení (\$)	2 554,78	3 279,03	4 637,59	6 160,40
Rozdíl (\$)	-536,40	-391,38	268,44	1 633,28

Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnoty z tabulky 4.12 jsou graficky vyjádřeny v následujícím grafu 4.20.

Graf 4.20: Porovnání týdenního VaR



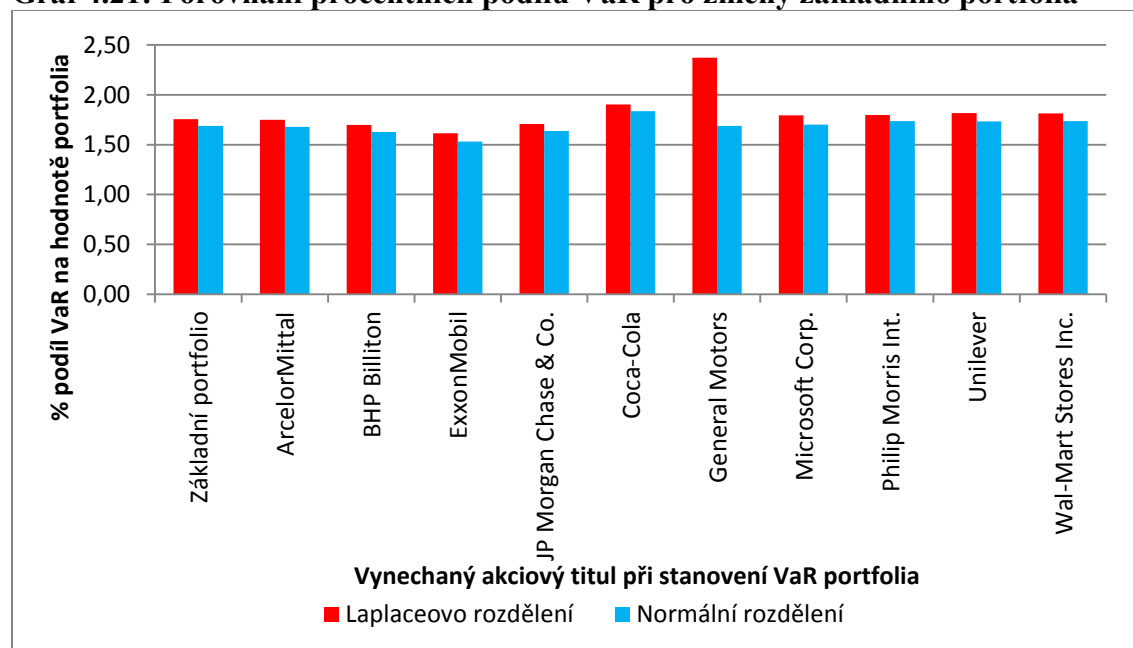
Zdroj: Vlastní zpracování

Na základě informací z tabulky 4.12 je zřejmé, že pro hladiny významnosti 0,10 a 0,05 jsou hodnoty týdenního VaR pro normální rozdělení pravděpodobnosti výnosů portfolia vyšší než pro Laplaceovo rozdělení, a to o 536,40 \$ na hladině významnosti 0,10 a o 391,38 \$ na hladině významnosti 0,05. Se snižující se hladinou významnosti však dochází k obratu, jak dokazuje graf 4.20. Průsečík obou grafů je možné stejně jako v předchozím případě možné

určit optimalizační úlohou, kde účelovou funkcí je minimalizace absolutní hodnoty rozdílu VaR s Laplaceovo rozdělením a VaR s normálním rozdělením pravděpodobnosti. Omezující podmínkou je, aby $0 < \alpha < 1$. Na základě této optimalizační úlohy je zjištěno, že týdenní hodnoty VaR jsou shodné ve výši 4 200,88 \$, a to pro hladinu významnosti $\alpha = 0,01755$. Se snižující se hladinou významnosti od tohoto průsečíku týdenní hodnoty VaR s Laplaceovo rozdělením pravděpodobnosti převyšují týdenní hodnoty VaR normálního rozdělení. Dochází také ke zvýšení rozdílu mezi těmito hodnotami Value at Risk.

V grafu 4.21 jsou porovnány procentní podíly denních VaR na hodnotě vzniklých portfolií za předpokladu, že hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Čím je sloupec vyšší, tím méně je instrument rizikový, neboť pro portfolio, které jej neobsahuje, je zjištěn vyšší procentuální podíl Value at Risk na celkové hodnotě portfolia. Graf obsahuje také informace o původním portfoliu.

Graf 4.21: Porovnání procentních podílů VaR pro změny základního portfolia



Zdroj: Vlastní zpracování

Z grafu 4.21 je tedy patrné, že nejméně rizikovými instrumenty jsou za předpokladu Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti akcie společnosti General Motors, neboť procentuální podíl Value at Risk na celkové hodnotě portfolia představuje 2,372 %. Druhými nejméně rizikovými akciemi jsou akcie společnosti Coca-Cola a třetími akcie společnosti Unilever.

Naopak jako nejvíce rizikové se jeví akcie společností Exxon Mobil, BHP Billiton a společnosti JP Morgan Chase & Co.

Za předpokladu normálního rozdělení však dochází ke změně. Nejméně rizikovými jsou akcie společnosti Coca-Cola, kdy za předpokladu, že jsou z portfolia odstraněny, procentuální podíl VaR na hodnotě portfolia představuje 1,837 %. O něco více rizikové jsou akcie společností Philip Morris Int. a Wal-Mart Stores Inc. Nejrizikovějšími akciemi jsou stejně jako za předpokladu Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti akcie společnosti Exxon Mobil, BHP Billiton a akcie společnosti JP Morgan Chase & Co.

5 Závěr

Hodnota Value at Risk je poměrně novým nástrojem moderní doby pro měření podstoupeného rizika, avšak velmi podstatným. V současné době, kdy je finanční trh vystaven nejrozličnějším rizikům, je zajisté velmi důležité tyto odchylky umět řídit, predikovat budoucí vývoj, tím se právě na neočekávané odchylky a rizika připravit. I z tohoto důvodu bylo cílem práce stanovit míru rizika portfolia akcií s eliptickým rozdělením pravděpodobnosti, přičemž ke splnění tohoto cíle bylo využito právě aplikace metodiky Value at Risk.

Samotnému výpočtu však předcházelo ve druhé kapitole nastínění fungování finančních trhů a investování na těchto trzích. Mimo jiného bylo zmíněno možné dělení finančních trhů, účastníci, kteří na těchto trzích vystupují či způsoby investování a rizika spojená s investováním. V této kapitole byla také představena newyorská burza.

Třetí kapitola pak byla věnována charakteristice vybraných rozdělení pravděpodobnosti a způsobům jak toto rozdělení určit. Dále tato kapitola obsahovala základní informace o vzniku Value at Risk a metody výpočtu této hodnoty, přičemž pro každou z metod byly uvedeny výhody i nevýhody využití. Následně bylo samotné stanovení hodnoty Value at Risk aplikováno v kapitole čtvrté.

Pro tuto práci bylo vybráno portfolio skládající se z deseti druhů akciových titulů, které byly vybrány na základě žebříčku Fortune: Global 500 za rok 2014. Pro toto portfolio byla stanovována hodnota Value at Risk na hladině významnosti 0,05 v časovém horizontu jednoho dne, kde datem, na který byla hodnota VaR stanovena, bylo datum 24. 1. 2015.

Jakmile byly získány časové řady cen akciových titulů, byly zjištěny jejich spojitě výnosy, bylo otestováno pravděpodobnostní rozdělení těchto výnosů a bylo dospěno k závěru, že jednotlivé akciové tituly, jakož i celkové portfolio má Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti. Dále bylo přikročeno k odhadu rozptylu pomocí modelu EWMA, a to nejdříve jeho robustní verze, které je využíváno právě pro Laplaceovo rozdělení pravděpodobnosti, následně pak standardní verze pro normální rozdělení pravděpodobnosti výnosů. Bylo zjištěno, že pomocí robustní verze modelu EWMA je rozptyl a směrodatná odchylka vyšší než při využití standardní verze.

Po propočtech všech potřebných údajů následovalo stanovení hledaného ukazatele. Bylo zjištěno, že s uvedenými vstupními parametry za předpokladu Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti činí denní Value at Risk na hladině významnosti 0,05 pro sledované portfolio o hodnotě 100 063,10 \$ částku ve výši 1,757 % z hodnoty tohoto portfolio, tedy 1 757,84 \$. Avšak, bylo-li by bráno v úvahu normální rozdělení výnosů portfolio, představuje denní hodnota VaR 1,687 % hodnoty portfolio, tedy 1 688,26 \$. Dochází tedy k podhodnocení možné ztráty. Dále byla provedena modifikace výpočtu a byly stanoveny týdenní hodnoty Value at Risk pro Laplaceovo i normální rozdělení. Bylo také zjištěno, že při vyjmutí určitých akciových titulů z portfolio dojde ke snížení či naopak zvýšení hodnoty denního Value at Risk. Bylo zjištěno, že od určité hladiny významnosti α převyšuje hodnota VaR za předpokladu Laplaceova rozdělení pravděpodobnosti hodnotu VaR normálního rozdělení. Pro denní hodnotu VaR se jedná o hladinu významnosti $\alpha = 0,06597$, kdy se Value at Risk pro obě pravděpodobnostní rozdělení rovnají 1 546,28 \$. Pro týdenní hodnotu VaR se jedná o hladinu významnosti $\alpha = 0,01755$, výše VaR je na této hladině pro obě rozdělení stejná, a to 4 200,88 \$. Se snižující se hladinou významnosti od těchto bodů dochází k nárůstu rozdílu mezi hodnotou VaR dle Laplaceova rozdělení a vypočteným VaR dle normálního rozdělení. Pro výpočet Value at Risk je tedy na vysokých hladinách spolehlivosti vhodnější využít Laplaceovo rozdělení, které lépe vystihuje těžké konce rozdělení výnosů a nedochází tak k podcenění rizik.

Práci by bylo možné rozšířit, a to například o optimalizaci složení portfolio či pokračováním v kvantifikaci rizik.

Seznam použité literatury

Knižní publikace

- [1] ALEXANDER, Carol. *Market Risk Analysis: Value-at-Risk Models*. 4th ed. England: John Wiley & Sons, 2008. 449 s. ISBN 978-0-470-99788-8.
- [2] ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. 3. vyd. Praha: MATFYZPRESS, 2011. 358 s. ISBN 978-80-7378-162-0
- [3] BLAKE, David. *Analýza finančních trhů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1995. 623 s. ISBN 80-716-9201-8.
- [4] HOLTON, Glyn A. *Value-at-Risk: Theory and Practice*. 1st ed. New York: Academic Press 2003. 405 s. ISBN 0-12-354010-0.
- [5] JÍLEK, Josef. *Akciové trhy a investování*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. 656 s. ISBN 978-80-247-2963-3.
- [6] MUSÍLEK, Petr. *Finanční trhy a investiční bankovníctví*. 1. vyd. Praha: ETC Publishing, 1999. 582 s. ISBN 80-86006-78-6.
- [7] REJNUŠ, Oldřich. *Finanční trhy*. 2. rozšíř. vyd. Ostrava: KEY Publishing s. r. o., 2010. 660 s. ISBN 978-80-7418-080-4.
- [8] SHARPE, William F. *Investice*. 2. rozšíř. vyd. Praha: Victoria Publishing, 1994. 810 s. ISBN 80-856-0547-3.
- [9] VESELÁ, Jitka. *Investování na kapitálových trzích*. 2. aktualiz. vyd. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2011. 789 s. ISBN 978-80-7357-647-9.
- [10] ZMEŠKAL, Zdeněk, DLUHOŠOVÁ, Dana, TICHÝ, Tomáš. *Finanční modely: Koncepty, metody, aplikace*. 3. přeprac. a rozšíř. vyd. Praha: Ekopress, s. r. o. 270 s. ISBN 978-80-86929-91-0.

Internetové zdroje

- [1] FORTUNE. *Fortune 500 2014*. [online]. [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://fortune.com/fortune500/>
- [2] GUERMAT, Cherif and HARRIS, Richard D. F. *Robust Conditional Variance Estimation and Value-at-Risk*. [online]. December 2000 [cit. 2014-11-02]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.27.357&rep=rep1&type=pdf>
- [3] LU, Zudi; HUANG, Hai and GERLACH Richard. *Estimating Value at Risk: From JP Morgan's Standard-EWMA to Skewed-EWMA Forecasting*. [online]. January 2010 [cit. 2014-11-08]. Dostupné z: http://ses.library.usyd.edu.au/bitstream/2123/8170/1/OMWP_2010_01.pdf
- [4] NYSE. *NYSE: Listings Directory* [online]. 2015 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: https://www.nyse.com/listings_directory/stock
- [5] STATSOFT. *Jak se pozná normalita pomocí grafů?* [online]. [cit. 2014-10-12]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_10_09_StatSoft_Jak_se_pozna_normalita_pomoci_grafu.pdf
- [6] WORLD FEDERATION OF EXCHANGE. *Monthly Reports* [online]. 2015 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <http://www.world-exchanges.org/statistics/monthly-reports>

Seznam zkratek

EWMA	exponentially weighted moving average (exponenciálně vážený klouzavý průměr)
RMSE	root mean square error (střední kvadratická chyba)
VaR	Value at Risk

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 23.4.2015

.....*Jahnová*.....

Bc. Kateřina Jahnová

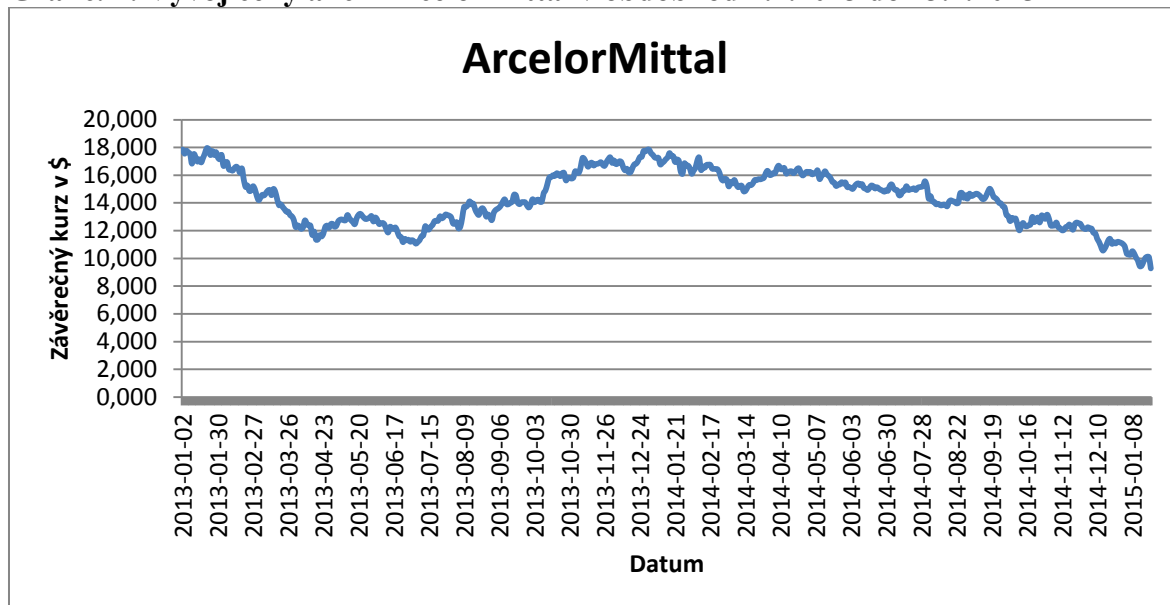
Seznam příloh

Příloha č. 1: Vývoj cen akcií obsažených v portfoliu za období od 2. 1. 2013 do 23. 1. 2015
(závěrečné kurzy)

Příloha č. 2a): Histogramy rozdělení pravděpodobnosti výnosů

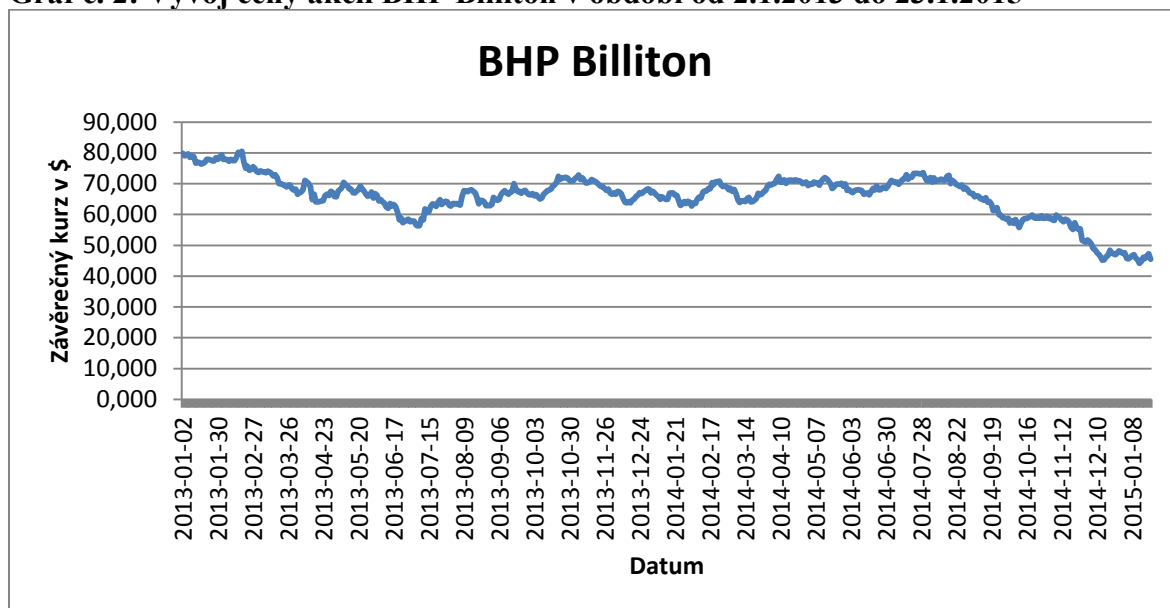
Příloha č. 2b): Q-Q Ploty rozdělení pravděpodobnosti výnosů

Graf č. 1: Vývoj ceny akcií ArcelorMittal v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



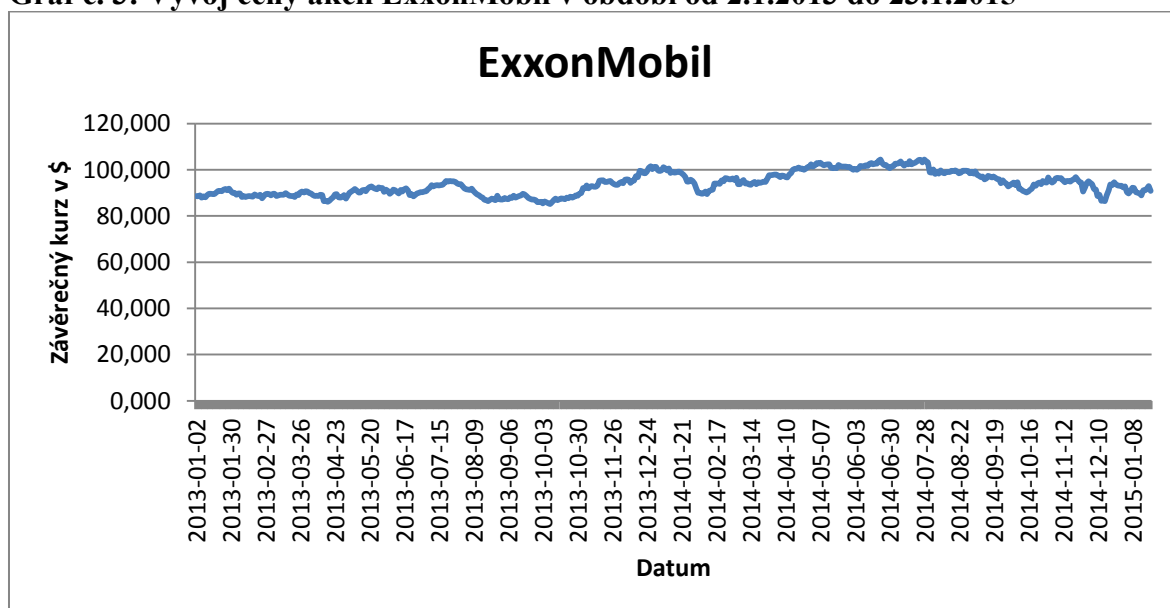
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 2: Vývoj ceny akcií BHP Billiton v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



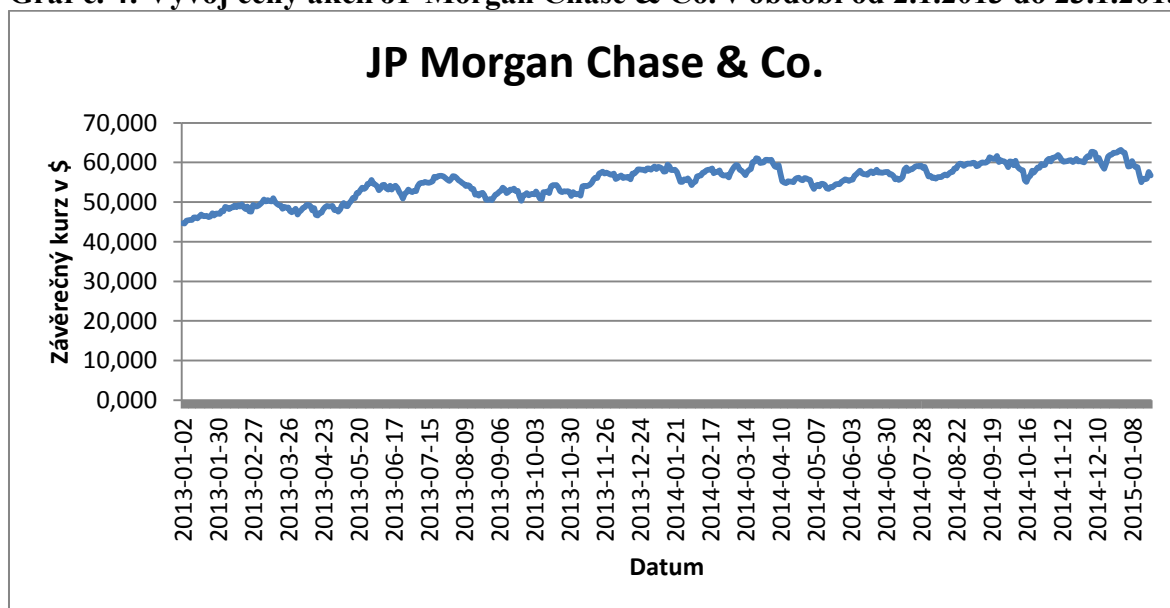
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 3: Vývoj ceny akcií ExxonMobil v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



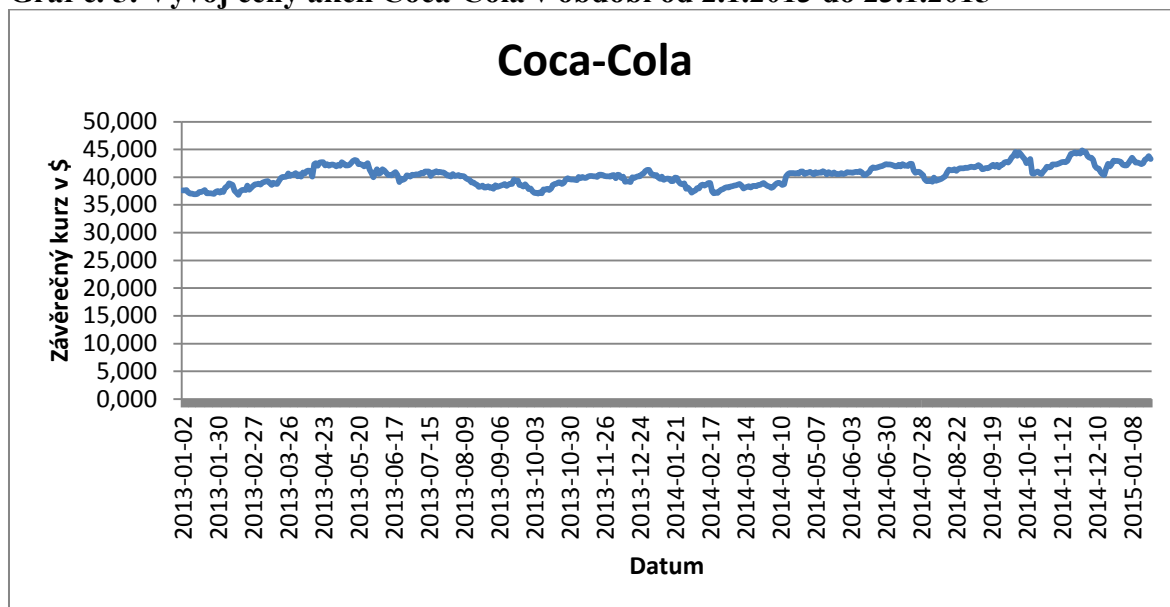
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 4: Vývoj ceny akcií JP Morgan Chase & Co. v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



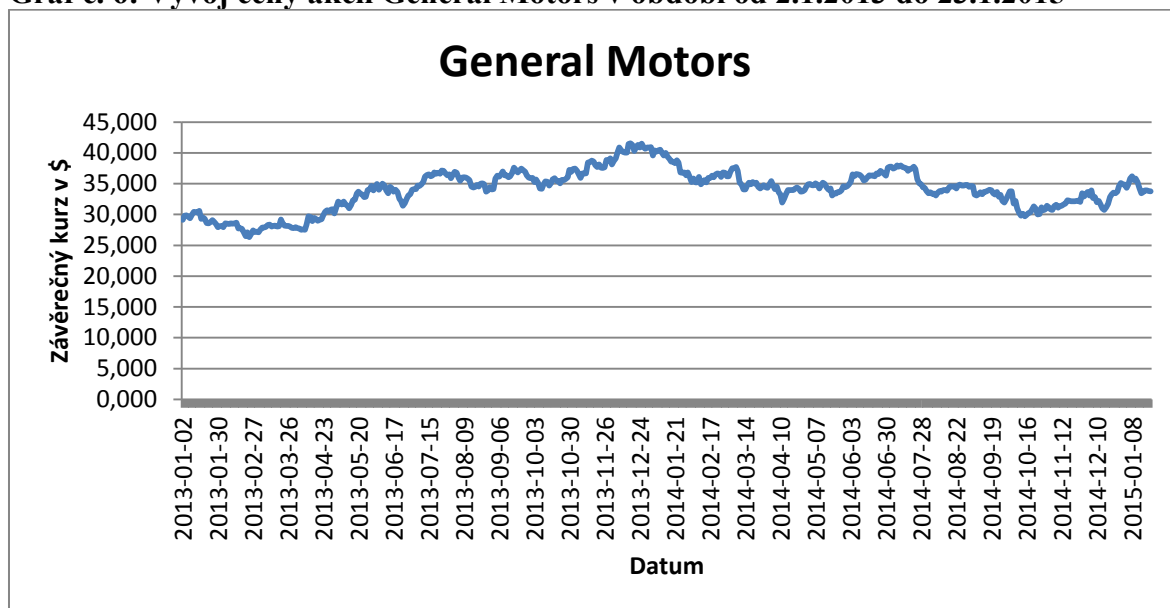
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 5: Vývoj ceny akcií Coca-Cola v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



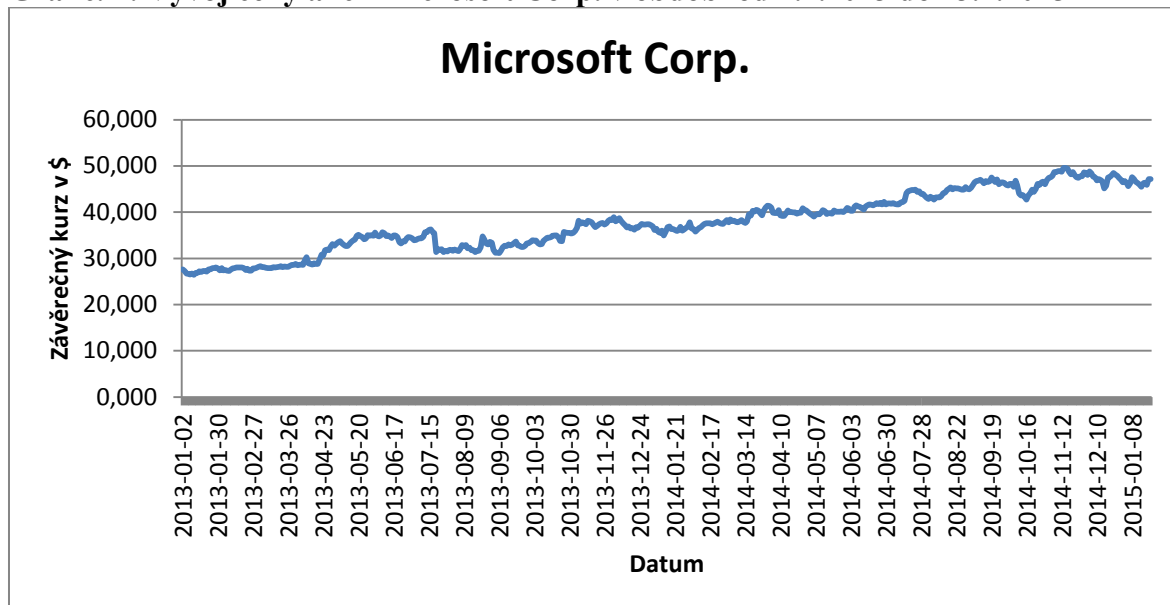
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 6: Vývoj ceny akcií General Motors v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



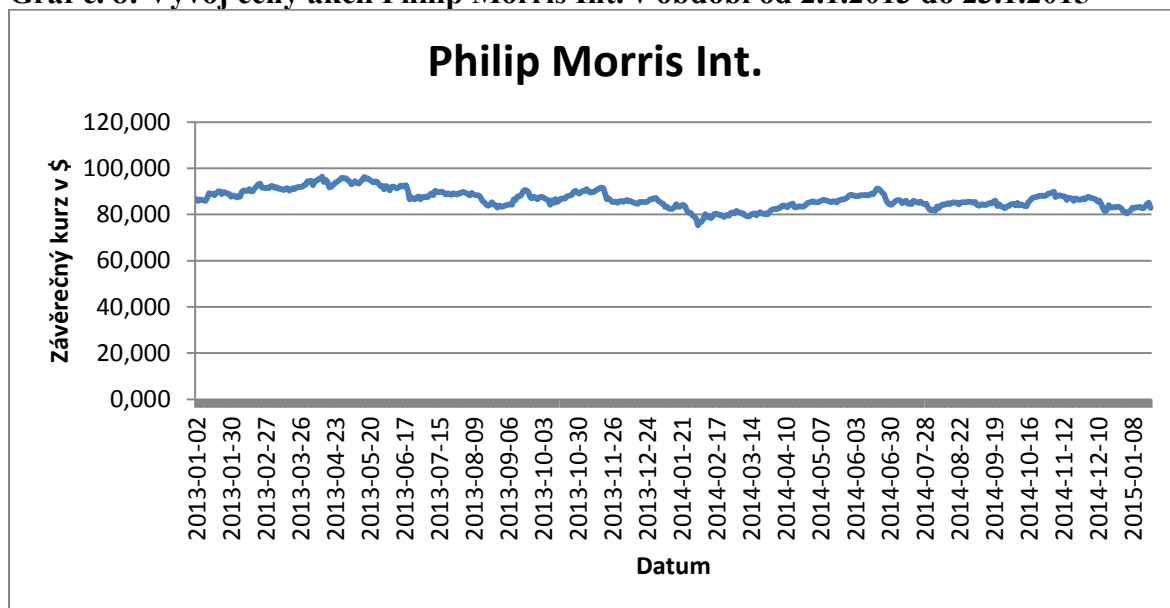
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 7: Vývoj ceny akcií Microsoft Corp. v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



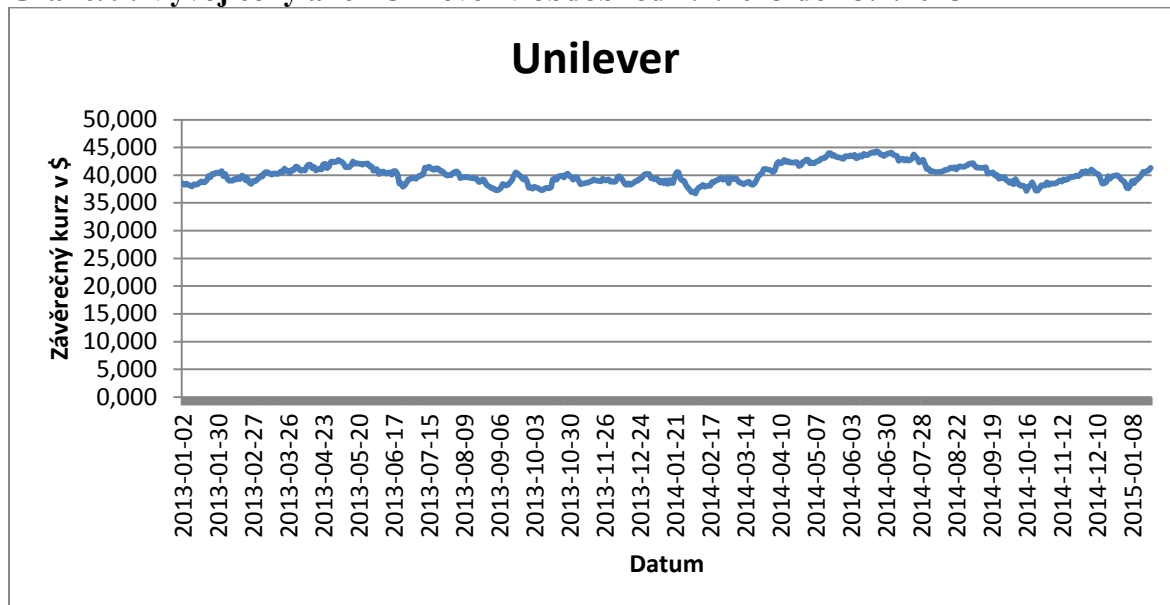
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 8: Vývoj ceny akcií Philip Morris Int. v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



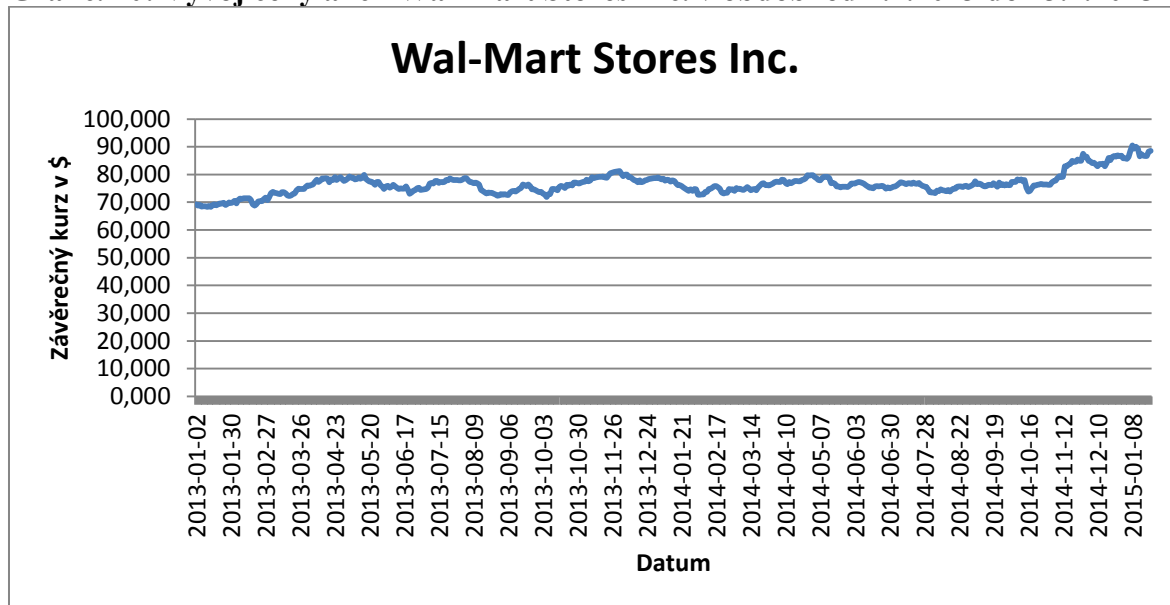
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 9: Vývoj ceny akcií Unilever v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



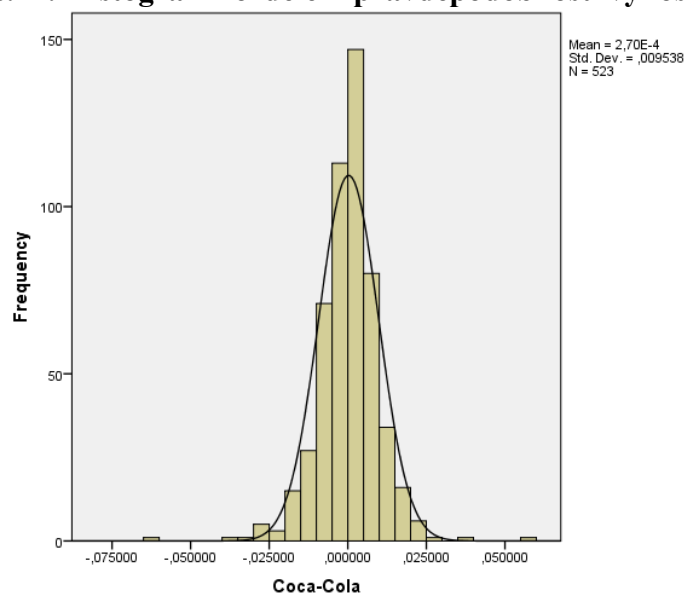
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č. 10: Vývoj ceny akcií Wal-Mart Stores Inc. v období od 2.1.2013 do 23.1.2015



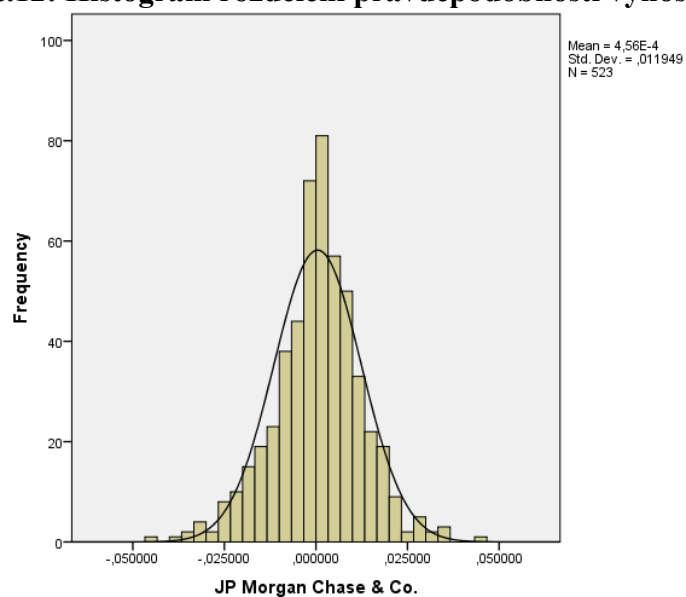
Zdroj: www.nyse.com, vlastní zpracování

Graf č.11: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Coca-Cola



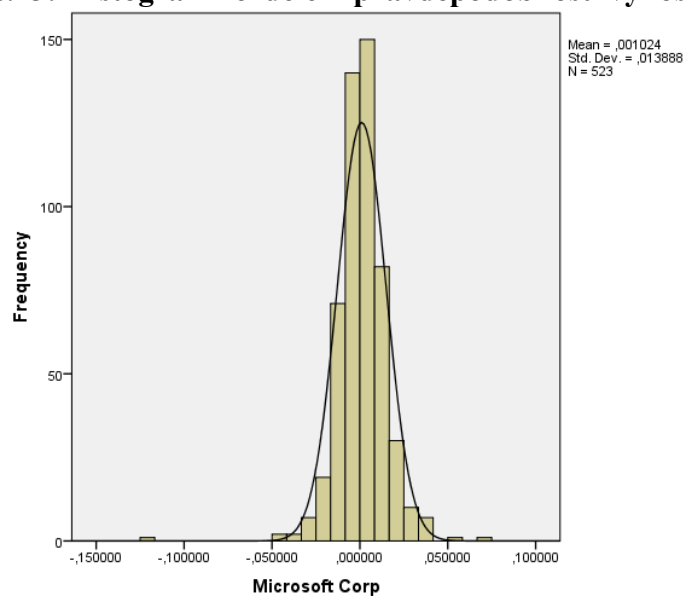
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č.12: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií JP Morgan Chase & Co.



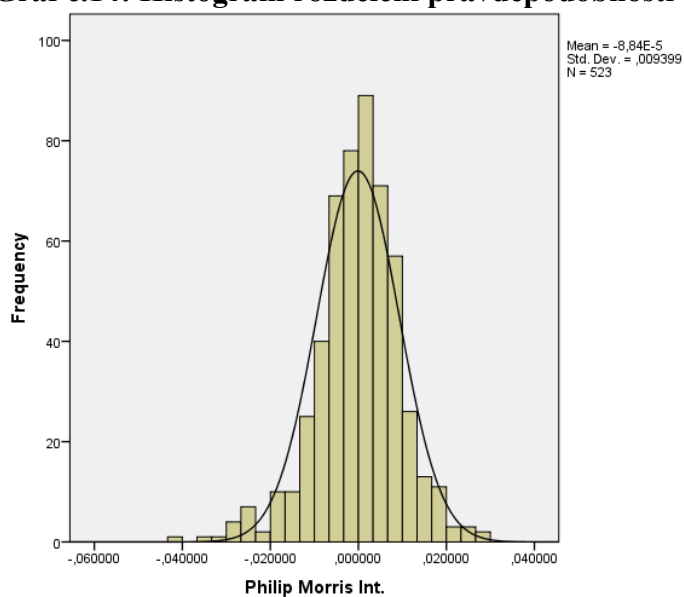
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č.13: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Microsoft Corp.



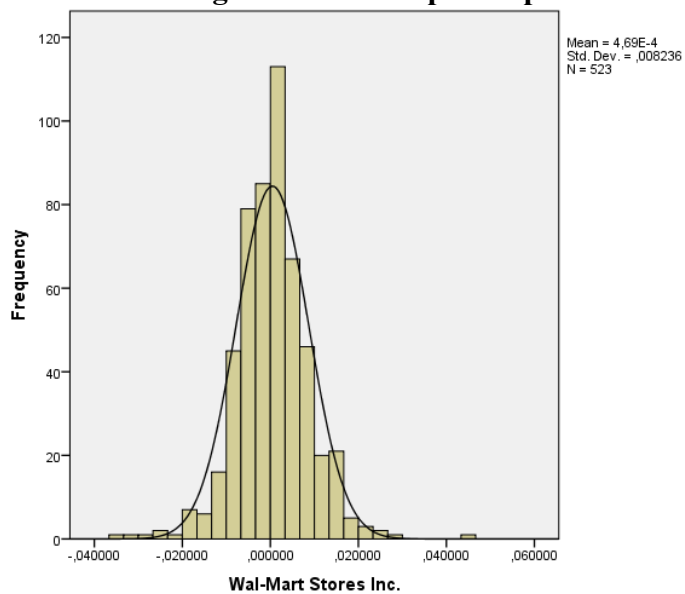
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č.14: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Philip Morris Int.



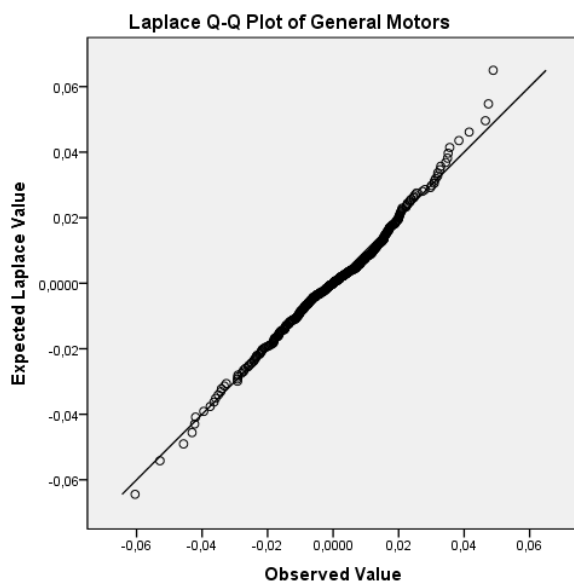
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č.15: Histogram rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Wal-Mart Stores Inc.



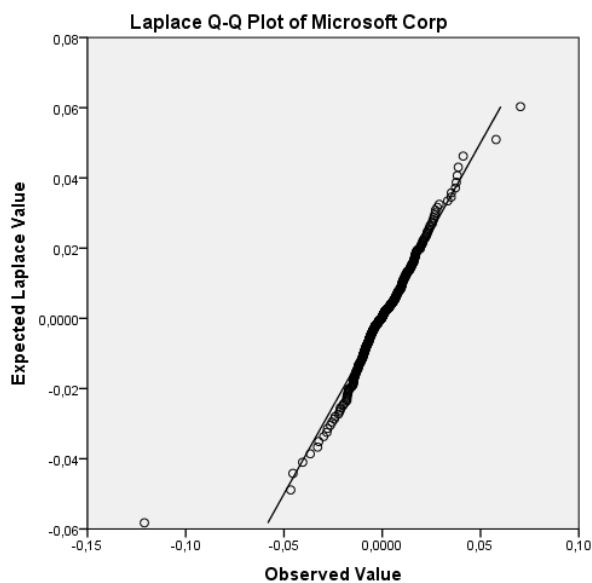
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č. 16: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií General Motors



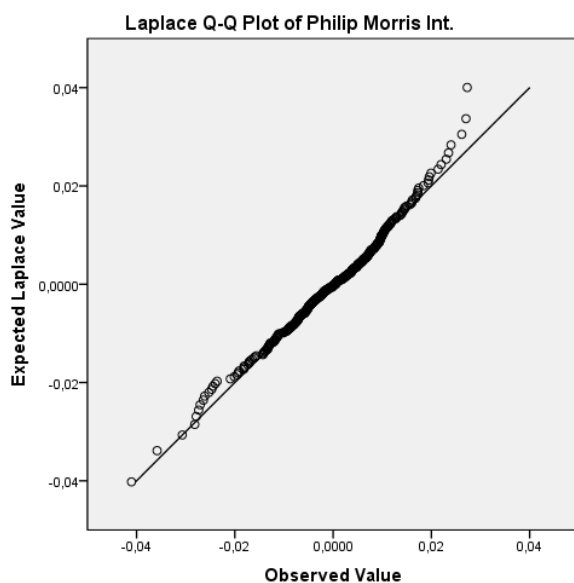
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č. 17: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Microsoft Corp.



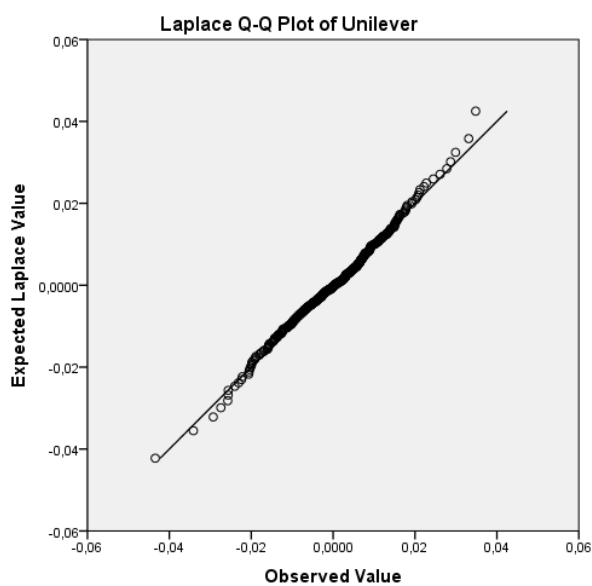
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č. 18: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Philip Morris Int.



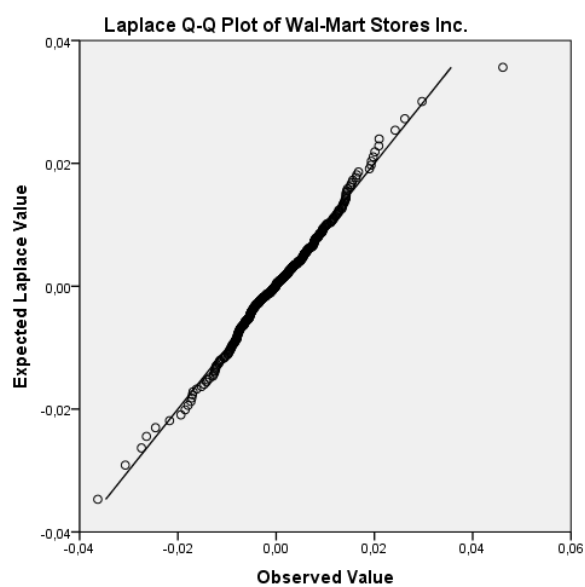
Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č. 19: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií Unilever



Zdroj: Vlastní zpracování

Graf č. 20: Q-Q plot rozdělení pravděpodobnosti výnosů akcií



Zdroj: Vlastní zpracování